

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO DE 5 GRADOS DE
LIBERTAD PARA CORTAR ICOPOR**

BAIRON JAVIER BECERRA VILLOTA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO DE 5 GRADOS DE
LIBERTAD PARA CORTAR ICOPOR

BAIRON JAVIER BECERRA VILLOTA

**Pasantia para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

Director:

JIMMY TOMBE
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA
PROGRAMA INGENIERIA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2006

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico.

ING. JORGE IVAN VELANDIA
Jurado

ING. JUAN CARLOS MENA
Docente

Santiago de Cali, 13 de Diciembre de 2006

Esta meta que he alcanzado, es gracias a Dios quien me dio la suerte, la oportunidad y las fuerzas suficientes para sacar adelante esta carrera.

A mis padres **Javier Becerra** y **Meive Amparo Villota** por haberme brindado todo su apoyo y colaboración en aquellos momentos difíciles de esta carrera, como la motivación necesaria para haber logrado este fin.

Dedico este trabajo especialmente a mi madre y a mi padre, quiénes se esforzaron y sacrificaron enormemente para que cumpliera este objetivo en mi vida, a mi tía **Mary del Carmen Villota** quién junto con mi madre, siempre brindo su apoyo incondicional.

A toda familia y mis amigos, que además de verme avanzar poco a poco, me dieron sabios consejos, me toleraron y siempre me alentaron para conseguir este logro tan importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo fue la consecución de la ayuda de personas con un alto grado profesional, solidaridad y amabilidad, por tal razón doy mis mas sinceros agradecimientos al Ingeniero Mecánico Goosman Gallego de la Universidad Autónoma de Occidente, quien estuvo en la mayor parte del desarrollo de este trabajo dando una excelente orientación y al Ingeniero Mecánico Jaime Aguilar del CITA (Centro de Investigación en Tecnología Aeronáutica de la Fuerza Aérea Colombiana) quien brindo todo su apoyo para facilitar el avance del trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN	17
3. PLANTEAMIENTO E IDENTIFICACION DE NECESIDADES	18
3.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	19
3.2 JERARQUIZACIÓN DE LAS NECESIDADES	20
4. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DEL PRODUCTO	21
4.1 ESTABLECIMIENTO DE UNIDADES Y MEDIDAS	21
4.2 RELACIÓN DE LAS MEDIDAS CON LAS NECESIDADES	22
4.3 BENCHMARKING	23
4.4 EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS EN PRODUCTOS COMPETIDORES	24
4.5 VALORES IDEALES Y MARGINALES	25
4.6 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES	26
5. GENERACION DE CONCEPTOS	27
5.1 CLARIFICAR EL PROBLEMA	27
5.2 CAJA NEGRA	28
5.3 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL	29

	Pág.
5.4 BUSQUEDA EXTERNA	30
5.5 BUSQUEDA INTERNA	30
5.6 EXPLORACIÓN SISTÉMICA	30
5.7 ÁRBOL CLASIFICACIÓN DE CONCEPTOS	32
5.8 TABLA DE COMBINACIÓN DE CONCEPTOS	40
6. SELECCIÓN DE CONCEPTOS	42
6.1 MATRIZ DE TAMIZAJE	43
6.2 QFD	51
7. PRUEBA DE CONCEPTOS	53
7.1 ESPECIFICACIONES FINALES	53
8. ARQUITECTURA DE PRODUCTOS	54
8.1 ESQUEMA DEL PRODUCTO	55
8.2 ESQUEMA DE ELEMENTOS A CONJUNTOS	56
8.3 DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA	57
8.4 INTERACCIONES FUNDAMENTALES	58
8.5 INTERACCIONES INCIDENTALES	59
9. DISEÑO INDUSTRIAL	60
9.1 EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES ERGONÓMICAS	60
9.2 EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES ESTÉTICAS	61
9.3 NATURALEZA DEL PRODUCTO	61
9.4 EVALUACIÓN DE CALIDAD	62

	Pág.
10. DISEÑO PARA MANUFACTURA	63
10.1 COSTOS DE MANUFACTURA	63
11. PROTOTIPADO	82
12. INTERACCIÓN CON EL SOFTWARE MASTERCAM	88
12.1 DIAGRAMA DE FLUJO COMUNICACIÓN SOFTWARE- MÁQUINA	93
12.2 DIAGRAMA DE BLOQUES	94
13. DISEÑO DETALLADO	95
13.1 DOCUMENTACIÓN MECÁNICA	95
13.2 DOCUMENTACIÓN ELECTRÓNICA	97
13.3 DIAGRAMAS DE FLUJO	105
14. CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFIA	107
ANEXOS	109

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Planteamiento de las necesidades del cliente	18
Tabla 2. Identificación de las necesidades del cliente	19
Tabla 3. Establecimiento de las medidas y sus unidades	21
Tabla 4. Relación de las medidas con las necesidades	22
Tabla 5. Benchmarking	23
Tabla 6. Evaluar medidas en productos competidores	24
Tabla 7. Valores ideales y marginales	25
Tabla 8. Especificaciones Preliminares	26
Tabla 9. Matriz 1 de selección de conceptos	44
Tabla 10. Matriz 1a de selección de conceptos	45
Tabla 11. Matriz 1b de selección de conceptos	46
Tabla 12. Matriz 2 de selección de conceptos	47
Tabla 13. Matriz 2a de selección de conceptos	48
Tabla 14. Matriz 2b de selección de conceptos	49
Tabla 15. Matriz 3 de selección de conceptos	50
Tabla 16. Especificaciones Finales 1	53
Tabla 17. Partes Standard eje Z	64
Tabla 18. Partes Standard eje Y	66
Tabla 19. Partes Standard eje X	68
Tabla 20. Partes Standard eje C y A	69
Tabla 21. Partes propias eje Z	72
Tabla 22. Partes propias eje Y	72
Tabla 23. Partes propias eje X	73
Tabla 24. Partes propias eje C y A	74
Tabla 25. Costos partes Standard eje Z	77
Tabla 26. Costos partes Standard eje Y	78
Tabla 27. Costos partes Standard eje X	79
Tabla 28. Costos partes Standard eje C y A	79
Tabla 29. Costos partes Electrónicas	81
Tabla 30. Costo total	81
Tabla 31. Códigos G	90
Tabla 32. Códigos M	90
Tabla 33. Partes SISDEI	91
Tabla 34. Secuencia motor paso paso	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Caja Negra	28
Figura 2. Descomposición funcional	29
Figura 3. Aceptar energía	32
Figura 4. Convierte energía a movimiento rotacional	33
Figura 5. Transmisión para movimiento trasnacional del eje X, Y, Z	34
Figura 6. Movimiento de los ejes C y A	36
Figura 7. Capturar órdenes del computador, Activar motores y Seleccionar ejes	36
Figura 8. Activación de los sensores X, Y, Z, C y A	37
Figura 9. Combinación de conceptos	40
Figura 9a. Combinación de conceptos	41
Figura 10. Esquema del producto	55
Figura 11. Esquema de elementos a conjuntos	56
Figura 12. Layout	57
Figura 13. Layout	57
Figura 14. Interacciones incidentales	59
Figura 15. Naturaleza del Producto	61
Figura 16. MLS520-1800EP	71
Figura 17. LS712-48-41	71
Figura 18. CRT100	83
Figura 19. Máquina CNC	83
Figura 20. Vista lateral	84
Figura 21. Vista Frontal	84
Figura 22. Vista superior	85
Figura 23. Imagen de Eje C y A en la máquina	85
Figura 24. Eje C y A	86
Figura 25. Isométrico de eje C y A	86
Figura 26. Base para herramienta	86
Figura 27. Eje C	86
Figura 27a. Eje C	87
Figura 28. Eje B	87
Figura 28a. Eje B	87
Figura 29. Pines Motor DC	99
Figura 30. Referencias y características de los motores	99
Figura 31. Encoder Incremental A	101
Figura 32. Encoder Incremental B	101
Figura 33. Encoder Incremental C	101
Figura 34. Encoder Incremental D	102
Figura 35. Conexión de motores	102
Figura 36. Driver motor paso paso	103
Figura 37. Driver completo motor paso paso	103

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Planos de las piezas de la maquina	109
Anexo 2. Datos técnicos de las piezas	146
Anexo 3. Motores DC y paso a paso	161
Anexo 4. Sensores Y transistores	165
Anexo 5. SISDEI y 82C55A	170
Anexo 6. Microcontrolador Atmel 89C51AC2	174
Anexo 7. LCD	175
Anexo 8. Teclado matricial	177
Anexo 9. Moto tool	178

RESUMEN

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales. Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes y troqueles.

En una máquina CNC una computadora controla todos los movimientos que la máquina tiene. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. Esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo.

Para el diseño de la máquina CNC de 5 grados de libertad para cortar icopor fue utilizada la metodología estructurada en los cursos de diseño mecatrónico 1 y 2 en donde el primer paso es aplicar la fase del desarrollo conceptual en todas sus etapas, las cuales son:

- Identificación de las necesidades del cliente
- Establecer especificaciones preliminares
- Generación de conceptos
- Selección de conceptos
- Prueba de conceptos
- Establecer especificaciones finales

Esta fase nos permite concentrarse en los aspectos más relevantes, nos ayuda a ver en una forma mas clara las soluciones que se requieren para el diseño de la máquina, nos da los conocimientos necesarios para el desarrollo de sus decisiones y la documentación del proceso de desarrollo.

En segunda instancia se aplico la segunda fase de la metodología estructurada la cual es la profundización de la etapa de desarrollo conceptual en donde se tratan los siguientes aspectos:

- Arquitectura de productos
- Diseño industrial
- Diseño para manufactura
- Prototipado

Esta fase nos ayuda a identificar el tipo de arquitectura que seria mas útil para la máquina respetando las necesidades del cliente identificadas en la etapa del

desarrollo conceptual, también se enfatiza en la buena presentación visual que la máquina debe poseer para atraer la atención, identifica los componentes y los costos que se requieren para la producción de la máquina y por el ultimo le análisis virtual, el cual da una amplia información en cuanto al funcionamiento electrónico y mecánico de la máquina.

Por ultimo se encuentra la etapa final del diseño la cual es la interacción del software intérprete para comunicar la máquina CNC con el programa MasterCam.

INTRODUCCIÓN

La máquina herramienta ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto que no es una exageración decir que la tasa del desarrollo de máquinas herramientas esta ligada directamente con la tasa del desarrollo industrial. Debido a la utilización de la máquina herramienta se ha podido realizar de forma práctica, maquinaria de todo tipo que, aunque concebida y realizada, no podía ser comercializada por no existir medios adecuados para su construcción industrial.

Así, por ejemplo, si para la mecanización total de un número de piezas fuera necesario realizar las operaciones de fresado, mandrilado y perforado etc. Es lógico que se alcanzara la mayor eficacia si este grupo de máquinas herramientas estuvieran agrupadas, pero se lograría una mayor eficiencia aún si todas estas operaciones se realizaran en una misma máquina. Esta necesidad, sumada a numerosos y nuevos requerimientos que día a día aparecieron forzó la utilización de nuevas técnicas que reemplazaran al operador humano. De esta forma se introdujo el control numérico en los procesos de fabricación, impuesto por varias razones:

- Necesidad de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.
- Necesidad de obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano.
- Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Inicialmente, el factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de productividad, la precisión, la rapidez y la flexibilidad. Hacia 1942 surgió lo que se podría llamar el primer control numérico verdadero, debido a una necesidad impuesta por la industria aeronáutica para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones.

El Control Numérico Computarizado (CNC) se puede definir de una forma genérica como un dispositivo de automatización de una máquina que, mediante una serie de instrucciones codificadas, controla su funcionamiento. Cada programa establece un determinado proceso a realizar por la máquina. Una misma máquina puede efectuar automáticamente procesos distintos sustituyendo solamente su programa de trabajo. Permite, por tanto, una elevada flexibilidad de funcionamiento con respecto a las máquinas convencionales en la que los automatismos se conseguían mediante sistemas mecánicos o eléctricos complicados y algunas veces casi imposibles de

modificar. Las máquinas de control numérico, tienen como función llevar a cabo un proceso de transformación física de las piezas o las partes que se requerirán para formar el producto terminado. Estas máquinas cuentan con computadoras internas que permiten controlar el máquinado, movimiento de herramientas y la ejecución de programas.

Actualmente en el CITA (Centro de Investigación en Tecnología Aeronáutica de la Fuerza Aérea Colombiana), se adelanta la construcción de aeronaves militares en materiales compuestos y para ello se requiere la construcción de moldes en poliuretano expandible, esta condición ha demandado un gran esfuerzo manual y de tiempo, sobre todo para la construcción del fuselaje. Por esta razón se ha previsto la construcción de una maquina de CNC que pueda mediante una fresa (mototool) esculpir la forma del fuselaje superando las imprecisiones y el ejercicio manual que actualmente se demanda. Esta maquina dará al mototool la capacidad de tener 5 grados de libertad los cuales darán los movimientos necesarios para que la herramienta utilizada por el CITA pueda realizar las funciones deseadas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una máquina de cinco grados de libertad para esculpir bloques de poliuretano expandible, de dimensiones: 5m de largo por 1:20 de alto y 1 metro de ancho. La herramienta será un motor tool de alta velocidad y tendrá la capacidad de trabajar con 5 grados de libertad.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Efectuar el diseño de los soportes
- Diseño de bancada
- Selección de transmisiones
- Seleccionar los motores de la máquina
- La interacción bien sea con el software Master CAM o una interfase con otro tipo de software de diseño asistido por computador como el Solid Edge o el Solid Work.

2. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN

Descripción del Producto:

- ✓ Sistema que permite esculpir en 3D la forma del fuselaje de aeronaves militares superando las imprecisiones y el ejercicio manual.

Principales objetivos de Marketing:

- ✓ Aceptación en el mercado

Mercado primario:

- ✓ Centro de Investigación en Tecnología Aeronáutica de la Fuerza Aérea Colombiana (CITA)

Mercado secundario:

- ✓ Todas aquellas empresas que necesitan tallar, desbastar, bosqueje, delinee, transformar en 3D materiales blandos.

Premisas y Restricciones:

- ✓ Dispositivo autónomo
- ✓ Fácil de manejar
- ✓ Consumo de potencia moderado
- ✓ Buena estética y seguridad
- ✓ Dimensiones X : 5m, Z: 1.2m, y: 1m
- ✓ Construcción modular
- ✓ Arquitectura de eje X y eje Z como los del sistema CRT-100

Partes Implicadas:

- ✓ Operarios
- ✓ Empresas que requieran la máquina
- ✓ Distribuidores y vendedores

3. PLANTEAMIENTO DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE

Tabla 1. Planteamiento de las necesidades del cliente

#	PLANTEAMIENTO
1	Que la máquina sea rápida
2	Que no sea muy pesada
3	Que sus dimensiones sean optimas para el trabajo
4	Que la máquina sea estéticamente presentable
5	Que sea cómodo de reparar
6	Que no consuma mucha energía
7	Que sea fácil de operar
8	Que la máquina sea autónoma
9	Que funcione varios años
10	Que no se caliente durante su funcionamiento
11	Que funcione bien durante jornadas intensas
12	Que la máquina no cometa errores graves en su trabajo
13	Que no haga mucho ruido
14	Que sea segura al ser operado
15	Que el software sea fácil de usar
16	Que el dispositivo este dentro de los estándares de las máquinas internacionales

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE

Tabla 2. Identificación de las necesidades del cliente

#		NEED	Imp
1	La Máquina	será de rápida respuesta	5
2	La Máquina	tendrá un peso razonable	3
3	La Máquina	Tendrá las dimensiones necesarias	5
4	La Máquina	constará de una buena apariencia visual	3
5	La Máquina	brindará facilidad de revisión	4
6	La Máquina	tendrá un consumo de potencia moderado	3
7	La Máquina	establecerá una fácil comunicación con el usuario	4
8	La Máquina	Será automática	5
9	La Máquina	tendrá un tiempo de vida alto	3
10	La Máquina	tendrá una temperatura moderada durante su funcionamiento	3
11	La Máquina	trabjará con óptimas condiciones sin importar el tiempo de trabajo	3
12	La Máquina	Tendrá una excelente precisión	5
13	La Máquina	Trabajara de la forma mas silenciosa posible	4
14	La Máquina	brindará seguridad al usuario	5
15	La Máquina	Tendrá un software fácil de utilizar	5
16	La Máquina	Tendrá igual calidad que las demás	4

3.2 JERARQUIZACION DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE

COMUNICACIÓN USUARIO/EQUIPO

- fácil uso del software
- establecerá una fácil comunicación con el usuario
- manejo automático

TRABAJO DEL EQUIPO EN UN TIEMPO DETERMINADO

- tendrá un tiempo de vida alto
- tendrá una temperatura moderada durante su funcionamiento
- trabajará con óptimas condiciones sin importar el tiempo de trabajo
- funcionara de forma silenciosa

ATRIBUTOS DEL EQUIPO

- tendrá un peso moderado
- tendrá medidas requeridas para el trabajo
- constará de una buena apariencia visual
- brindará facilidad de revisión

FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

- tendrá una óptima precisión
- estándares internacionales
- su velocidad de trabajo será buena

SEGURIDAD DEL EQUIPO

- tendrá un consumo de potencia moderado
- brindará seguridad al usuario

4. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DEL PRODUCTO

4.1 ESTABLECIMIENTO DE LAS MEDIDAS Y SUS UNIDADES

Tabla 3. Establecimiento de las medidas y sus unidades

Metric #	NEED #s	METRIC	Imp	Units
1	1	Velocidad de la máquina	5	mm/s
2	2	Peso del equipo	3	Kg
3	3	Dimensiones del equipo	5	m
4	4	Estética del equipo	3	subj
5	5	Espació para un cómodo mantenimiento	4	subj
6	6	Consumo de energía eléctrica	3	Kw/h
7	7,15	Interacción usuario-equipo	4	subj
8	8	autónoma	5	Binaria
9	9	Vida útil	3	Años
10	10	Temperatura interna del equipo	3	°C
11	11	Tiempo de funcionamiento continuo	3	Horas
12	12	Precisión del equipo	5	mm
13	13	Atenuación de ruido de trabajo	4	dB
14	14	seguridad que brinda el equipo	5	%
15	16	Estándares internacionales	4	Binaria

4.2 RELACIÓN DE LAS MEDIDAS CON LAS NECESIDADES

Tabla 4. Relación de las medidas con las necesidades

			1	2	3	4	5	6	7,15	8	9	10	11	12	13	14	16	
			Métrica	Velocidad de la Máquina	Peso del equipo	Dimensiones del equipo	Estética del equipo	Espació para un cómodo mantenimiento	Consumo de energía eléctrica	Interacción usuario-equip	Autonomía	Vida útil	Temperatura interna	Tiempo de funcionamiento	Precisión del equipo	Atenuación del ruido del trabajo	Seguridad que brinda el equipo	Estándares internacionales
	Necesidad	Imp																
1	será de rápida respuesta	5	9															
2	tendrá un peso razonable	3		5														
3	tendrá dimensiones necesarias	5			5													
4	constará de una buena apariencia visual	3				5												
5	brindará facilidad de revisión	4					3											
6	tendrá un consumo de potencia moderado	3						3										
7	establecerá una fácil comunicación con el usuario	4							5									
8	Será automática	5								9								
9	tendrá un tiempo de vida alto	3									3							
10	tendrá una temperatura moderada durante su funcionamiento	3										5						
11	trabaja con óptimas condiciones sin importar el tiempo de trabajo	3											5					
12	Tendrá una excelente precisión	5												9				
13	Trabajara de la forma mas silenciosa posible	4													5			
14	brindará seguridad al usuario	5															9	
15	Tendrá un software fácil de utilizar	5							5									
16	Tendrá igual calidad que las demás	4																3
Total		372	45	15	25	15	12	9	45	45	9	15	15	45	20	45	12	
Total %		100%	12,1	4,03	6,72	4,03	3,22	2,41	12,1	12,1	2,4	4,03	4,03	12,1	5,37	12,1	3,22	

4.3 BENCHMARKING

Tabla 5. Benchmarking

			Productos Competidores	Charlyrobot	Cnc automation	5 axis cnc routers 3 axes routers & used routers too	Nmine developments
#		Necesidades	imp.				
1	La Máquina	será de rápida respuesta	5	•••• ••	••••••	•••••	••••
2	La Máquina	tendrá un peso razonable	3	••••	••••••	••••	•••• •
3	La Máquina	Tendrá las dimensiones necesarias	5	••••	••••••	•••••	••••
4	La Máquina	constará de una buena apariencia visual	3	•••• •	•••••	•••••	•••• •
5	La Máquina	brindará facilidad de revisión	4	••••	•••••	•••••	•••• •
6	La Máquina	tendrá un consumo de potencia moderado	3	•••• ••	•••••	•••••	•••• •
7	La Máquina	establecerá una fácil comunicación con el usuario	4	•••• ••	••••••	••••••	•••• ••
8	La Máquina	Será automática	5	•••• •	•••••	•••••	•••• •
9	La Máquina	tendrá un tiempo de vida alto	3	••••	••••	••••	••••
10	La Máquina	tendrá una temperatura moderada durante su funcionamiento	3	••••	••••	••••	••••
11	La Máquina	trabajarán con óptimas condiciones sin importar el tiempo de trabajo	3	•••• •	•••••	•••••	•••• •
12	La Máquina	Tendrá una excelente precisión	5	•••• ••	••••••	••••••	•••• ••
13	La Máquina	Trabajara de la forma mas silenciosa posible	4	••••	••••	••••	••••
14	La Máquina	brindará seguridad al usuario	5	•••• ••	••••••	••••••	•••• ••
15	La Máquina	Tendrá un software fácil de utilizar	5	•••• •	•••••	•••••	•••• •
16	La Máquina	Tendrá igual calidad que las demás	4	•••• •	•••••	•••••	•••• •

4.4 EVALUAR MEDIDAS EN PRODUCTOS COMPETIDORES

Tabla 6. Evaluar medidas en productos competidores

			Productos Competidores	1	2	3	4
				Charlyrobot	Cnc automation	5 axis cnc routers 3 axes routers & used routers too	Nmine developments
	Métricas	imp.	Unidades				
1	Velocidad de la máquina	5	mm/s	6000rpm	24000rpm	6000rpm	120rpm
2	Peso del equipo	3	Kg	1600	31	30 a 100	30 a 100
3	Dimensiones del equipo (X,Y,Z)	5	M	1.05, 1.75,0.45	15.24,6.1,3.05	3.05,1.53, 0.92	0.95,0.6, 0.35
4	Estética del equipo	3	Subj	Buena	Buena	Buena	Buena
5	Espació para un cómodo mantenimiento	4	Subj	Cómodo	Cómodo	Cómodo	Cómodo
6	Consumo de energía eléctrica	3	Kw/h	6Kw	7,5Kw	8Kw	10Kw
7	Interacción usuario-equipo	4	Subj	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
8	autónoma	5	Binaria	si	si	si	Si
9	Vida útil	3	Años	-	-	-	-
10	Temperatura interna del equipo	3	°C	-	-	-	-
11	Tiempo de funcionamiento continuo	3	Horas	-	-	-	-
12	Precisión del equipo	5	Mm	0,003	0,00023	0,0003	0,0004
13	Atenuación de ruido de trabajo	4	dB	-	-	-	-
14	seguridad que brinda el equipo	5	%	98	97	98	99
15	Estándares internacionales	4	Binaria	si	si	si	si

4.5 VALORES IDEALES Y MARGINALES

Tabla 7. Valores ideales y marginales

		Unidades	Valor marginal	Valor ideal
	Métricas			
1	Velocidad de la máquina	mm/s	>15	<30
2	Peso del equipo	Kg	>15	<30
3	Dimensiones del equipo (X,Y,Z)	m	>3,1,1	<7,2,2
4	Estética del equipo	subj	Buena	Buena
5	Espació para un cómodo mantenimiento	subj	Adecuado	Adecuado
6	Consumo de energía eléctrica	Kw/h	>5	< 20
7	Interacción usuario-equipo	subj	Excelente	Excelente
8	Autónoma	Binaria	Si	si
9	Vida útil	Años	>3	< 6
10	Temperatura interna del equipo	°C	>25	<37
11	Tiempo de funcionamiento continuo	Horas	> 8	<15
12	Precisión del equipo	mm	>0,001	<=0,0001
13	Atenuación de ruido de trabajo	dB	>9	<11
14	seguridad que brinda el equipo	%	>90	<100
15	Estándares internacionales	Binaria	Si	si

4.6 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES

Tabla 8. Especificaciones Preliminares

#	Métrica	Unidades	Valores
1	Velocidad de la máquina	mm/s	>10
2	Peso del equipo	Kg	<120
3	Dimensiones del equipo (X,Y,Z)	m	5,1.2,1
4	Estética del equipo	subj	Buena
5	Espació para un cómodo mantenimiento	subj	Adecuado
6	Consumo de energía eléctrica	Kw/h	< 20
7	Interacción usuario-equipo	subj	Excelente
8	Autónoma	Binaria	si
9	Vida útil	Años	< 6
10	Temperatura interna del equipo	°C	<37
11	Tiempo de funcionamiento continuo	Horas	<15
12	Precisión del equipo	mm	<=2,54
13	Atenuación de ruido de trabajo	dB	<11
14	seguridad que brinda el equipo	%	>90

5. GENERACIÓN DE CONCEPTOS

5.1 CLARIFICAR EL PROBLEMA

Descripción del Producto:

- Sistema autónomo de 5 grados de libertad que permite el corte o creaciones de piezas en 3D de un aeroplano

Necesidades

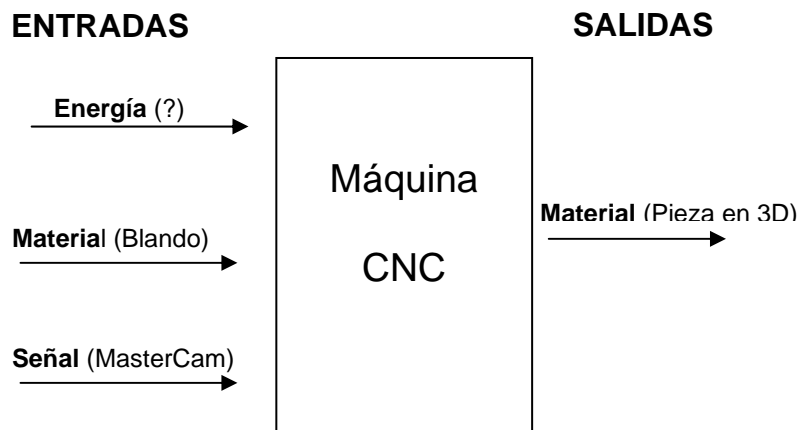
- Que sea de rápida respuesta
- Que no pese mucho
- Costo y facilidad de adquisición
- Que tenga un mínimo desgaste
- Que no haga mucho ruido
- que tenga buena apariencia
- Que tenga buena precisión
- Facilidad de uso

Especificaciones

- Fuente de alimentación: 110VAC
- Control autónomo
- Peso moderado
- Dimensiones del equipo
- Precisión
- Diseño modular

5.2 CAJA NEGRA

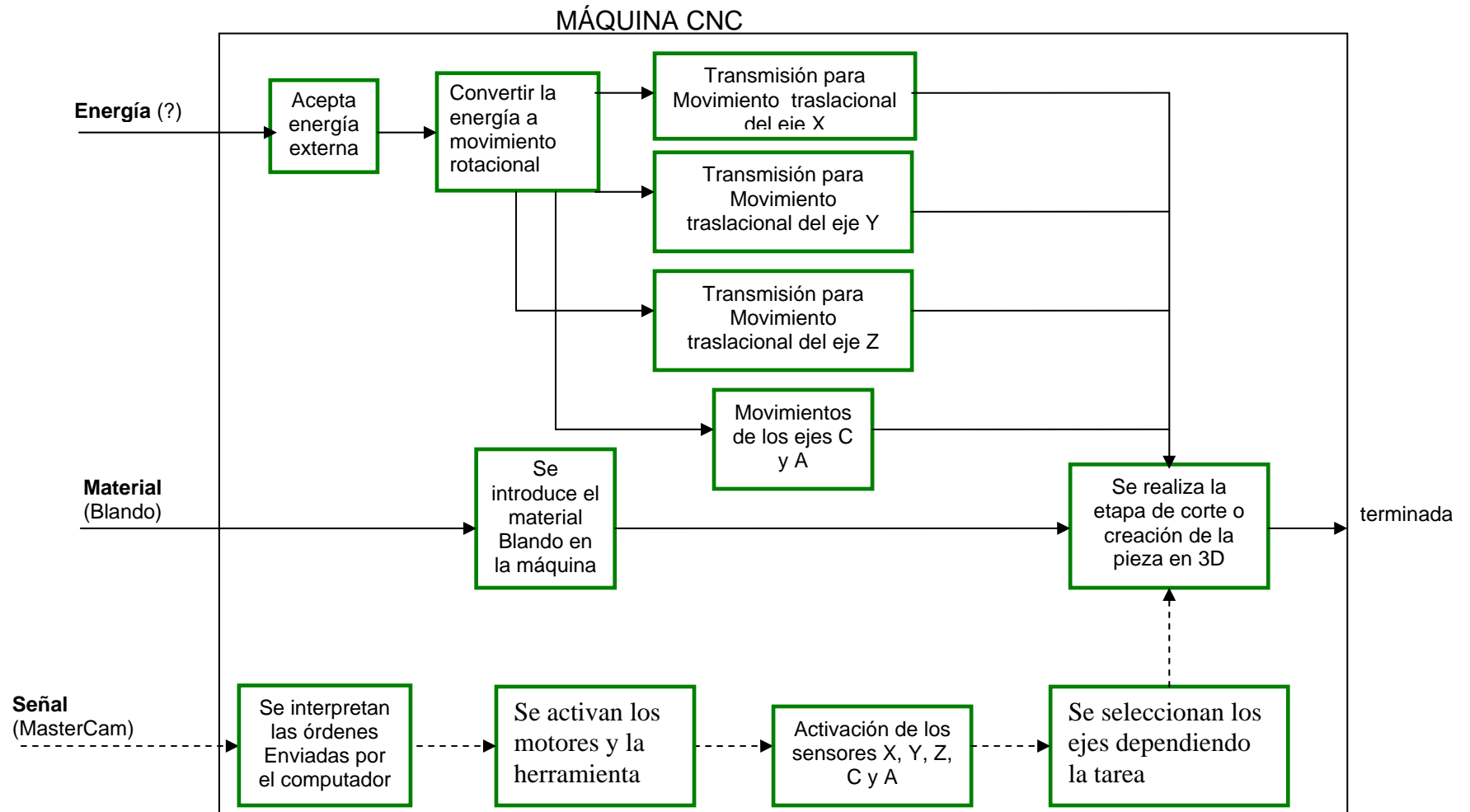
Figura1. Caja Negra



En la caja negra (ver figura 1) con sus entradas y salidas podemos apreciar el sistema desde un punto de vista exterior, donde conocemos qué variables de entrada tiene el sistema, y qué salidas se esperan del mismo, ayudándonos a comprender qué se necesita para que responda como se quiere.

5.3 DESCOMPOSICION FUNCIONAL

Figura 2. Descomposición funcional



5.4 BUSQUEDA EXTERNA

En la etapa de búsqueda externa se tuvo en cuenta las subfunciones que fueron analizadas tales como: aceptación de la energía, Convertir energía a movimiento rotacional y traslacional, entre otras y con base en estas se consultó en Internet, revistas, libros y demás material de ayuda para obtener un mejor conocimiento sobre la tecnología que utiliza el dispositivo. Es así como se encontraron características que debemos tener en cuenta, tales como los métodos para lograr una buena precisión, qué métodos y herramientas utilizaron para lograr esto, etc. También como estética, control, sensores, entre otros.

5.5 BUSQUEDA INTERNA

Se obtuvieron varios conceptos generados individualmente e ideas de las subfunciones analizadas, las cuales fueron puestas a debate con diferentes profesores los cuales conocían sobre cada tema y se escogieron las más adecuadas, para así analizar los conceptos seleccionados para cada subfunción, de la siguiente manera:

5.6 EXPLORACIÓN SISTEMATIZADA

SUBFUNCIONES A ANALIZAR:

- Aceptar energía externa.
- Convierte energía a movimiento rotacional.
- Transmisión para Movimiento traslacional del eje X
- Transmisión para Movimiento traslacional del eje Y
- Transmisión para Movimiento traslacional del eje Z
- Movimientos de los ejes C y A
- Interpretar las órdenes del computador
- Activar motores y herramientas
- Seleccionar los ejes
- Activación de los sensores X, Y, Z, C y A

CONCEPTOS GENERADOS PARA LA SUBFUNCIÓN “ACEPTAR ENERGIA EXTERNA”

- Paquetes de baterías.
- Celdas solares.
- Energía eléctrica tomada de la pared.

CONCEPTOS GENERADOS PARA LA SUBFUNCIÓN “CONVIERTE ENERGÍA A MOVIMIENTO ROTACIONAL ”

- Motor AC.
- Motor DC.
- Motor de Pasos.
- Servomotor.

CONCEPTOS GENERADOS PARA LA SUBFUNCIÓN “TRANSMISIÓN PARA MOVIMIENTO TRASLACIONAL DEL EJE X, Y, Z ”

- Tornillo sin fin.
- Piñón - cremallera.
- Biela – manivela.
- Polea.
- Piñón – cadena.

CONCEPTOS GENERADOS PARA LA SUBFUNCIÓN “MOVIMIENTOS DE LOS EJES C Y A ”

- Motor AC.
- Motor DC.
- Motor de Pasos.
- Servomotor.

CONCEPTOS GENERADOS PARA LA SUBFUNCIÓN “CAPTURAR LAS ÓRDENES DEL COMPUTADOR, ACTIVAR MOTORES Y HERRAMIENTAS, SELECCIONAR LOS EJES ”

- Microcontrolador Atmel
- Microcontrolador PIC

CONCEPTOS GENERADOS PARA LA SUBFUNCIÓN “ACTIVACIÓN DE LOS SENSORES X, Y, Z, C Y A”

Analógicos

- Potenciómetros
- Resolvers
- LVDT'S

Digitales

- Encoders absolutos
- Encoders incrementales
- Regla óptica

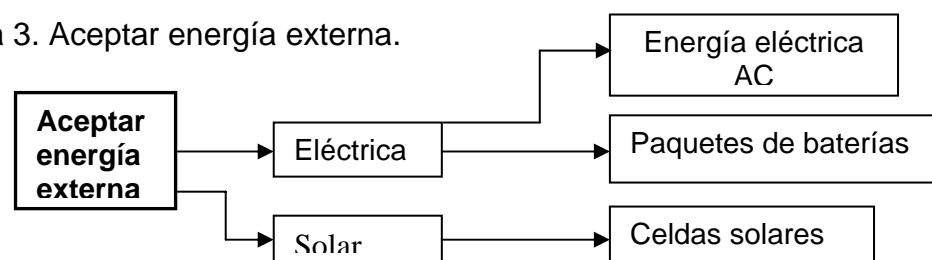
Sensores de Proximidad

- Sensores Capacitivos
- Sensores Ultrasónicos
- Sensores de proximidad ópticos

5.7 ÁRBOL DE CLASIFICACIÓN

Aceptar energía externa.

Figura 3. Aceptar energía externa.



Para la aceptación de energía externa se tiene 3 conceptos diferentes los cuales cumplirían perfectamente con el objetivo de abastecer la máquina con energía pero si analizamos cada uno de ellos encontramos que solo uno es el mas correcto para esta tarea.

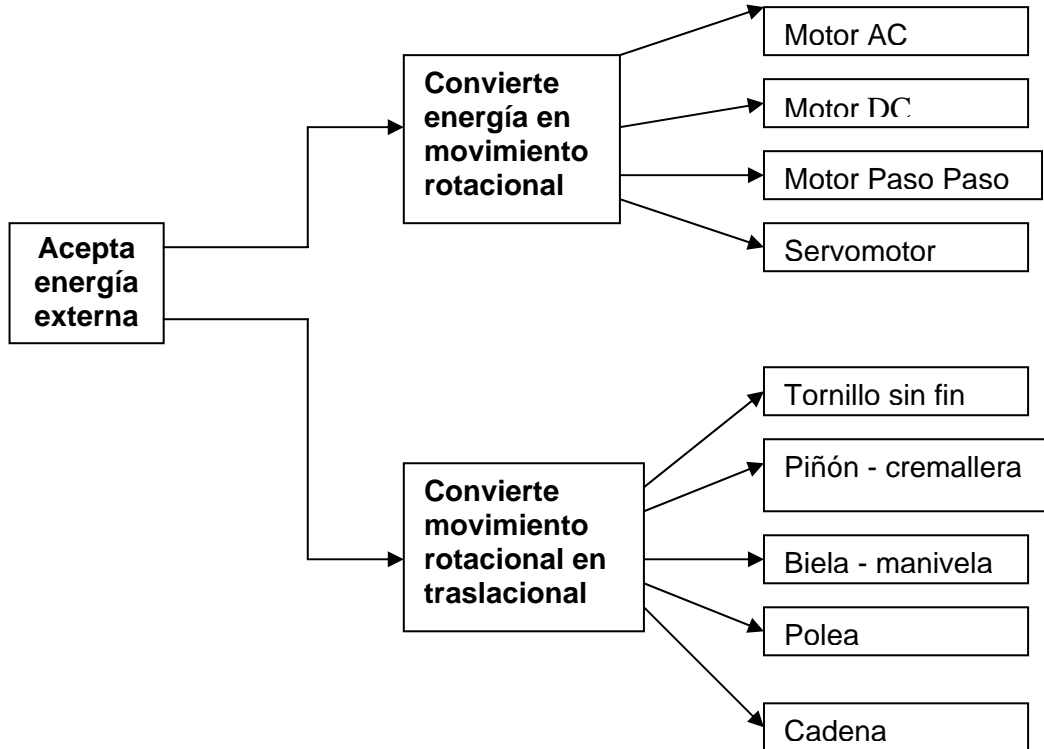
Las **celdas solares** son placas grandes que absorben la energía solar en eléctrica entre mas grande sea la placa mucho mas energía absorberá por lo que la potencia que botara será mayor , esto lleva a que si la fuente de energía son las celdas solares necesitaríamos placas de mayor tamaño para satisfacer la potencia requerida por la máquina, también hay que tener en cuenta que la buena absorción de las celdas solares dependen de la buena ubicación para recibir la luz solar y de el clima por lo que no todo el tiempo podría ser utilizada debido a los cambios de clima.

Los **paquetes de baterías** nos provee energía segura pero de muy pequeña potencia, y si se requiere altas potencia el costo de baterías que lo proporcionan es bastante grande, por lo que no es muy conveniente utilizar baterías para el desarrollo de la máquina de altas dimensiones.

Después de analizar los conceptos anteriores la **Energía eléctrica AC** es la mas viable para el desarrollo de la máquina puesto que la energía eléctrica AC siempre estará en constante funcionamiento no depende del clima o de el día o la noche y su consecución es muy barata y fácil con respecto a otro tipo de energías.

Convierte energía a movimiento rotacional.

Figura 4. Convierte energía a movimiento rotacional.



Para la transformación de energía eléctrica a movimiento rotacional y este a su vez a movimiento traslacional se generaron una serie de opciones que pueden cumplir con la función, a continuación se evaluará cada opción para saber cual o cuales de ellas son la mejores.

El **Motor AC** son utilizados actualmente en industrias, sus características son Simplicidad, bajo coste, robustez y no necesitan mantenimiento. Su dificultad esta en la regulación de velocidad (Depende de la frecuencia de la alimentación). En este tipo de motores, tensión, intensidad, velocidad de giro y par están relacionados todos entre ellos y no se pueden controlar independientemente. Por lo que este tipo de motor no es adecuado debido a que en la máquina se necesita control de posición y velocidad.

El **Motor DC** los más empleados históricamente en operaciones de control de Movimientos, Flexibilidad, control velocidad y par. Se controlan independientemente variando el voltaje e intensidad. Dificultades de regulación. Sus ventajas son la amplia gama en variación velocidad, Rotación uniforme, Buena calidad mecanizado, Baja inercia motor, Arranque/Paradas rápidos, Posibilidad mecanizado a altas velocidades. Sus inconvenientes es que es

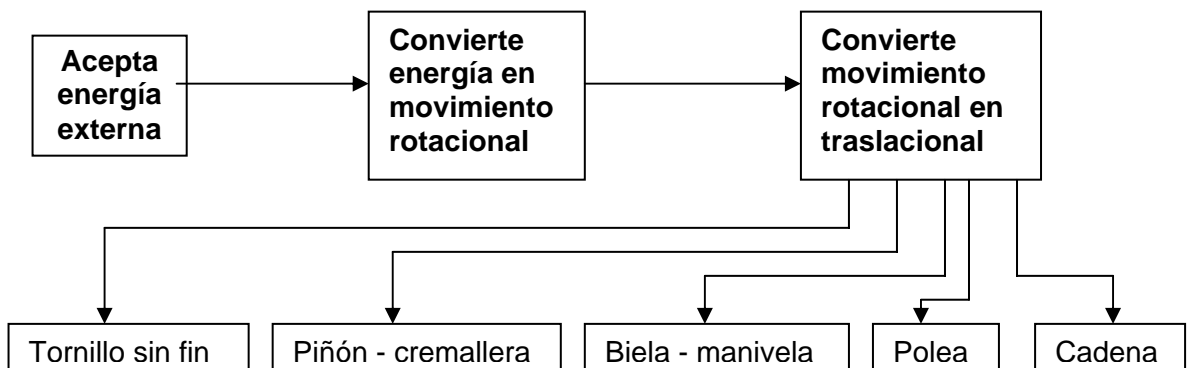
Necesario mantenimiento. (Escobillas). Este es un buen motor el cual se ajusta a lo necesitado.

El **Motor Paso Paso** es un dispositivo electromecánico capaz de transformar una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares fijos (pasos). Los impulsos provocan desplazamientos angulares, la secuencia de impulsos enviados finaliza cuando se alcanza la posición deseada. Sus ventajas son, la alta precisión en el posicionamiento, Sencillez de control, (Se varía la velocidad variando la frecuencia de los impulsos de mando), Amplio rango de variación de velocidad, Sencillez de fabricación y bajo coste. Sus inconvenientes es que el par disminuye al aumentar la velocidad de giro por encima del valor nominal. También es un buen motor para cumplir con las necesidades aunque solo es recomendable para distancias pequeñas.

El **Servomotor** tiene un eje de rendimiento controlado, este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada, necesita un dispositivo de control de alta resolución para operar suavemente a bajas velocidades, y su drive es más complejo, no consume mucha energía, los servomotores tiene una alta precisión pero no es muy recomendable para cuando se necesita recorrer grandes distancias pero también es una buena opción.

Transmisión para Movimiento traslacional del eje X, Y, Z.

Figura 5. Transmisión para Movimiento traslacional del eje X, Y, Z.



El **Tornillo sin fin** sirve para convertir movimiento rotatorio en movimiento lineal en actuadores, máquinas de producción y gatos elevadores entre muchas otras aplicaciones. Son capaces de obtener ventajas mecánicas muy elevadas y, por lo tanto tienen capacidad de elevar o mover grandes cargas, además de tener una muy buena precisión. Por lo que es un método de transmisión bastante bueno para el proyecto.

El **piñón – cremallera** se utiliza para transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo o viceversa, un ejemplo de su empleo es la dirección de piñón y cremallera en los automóviles. Por lo que este procedimiento de transmisión es muy aceptable y útil.

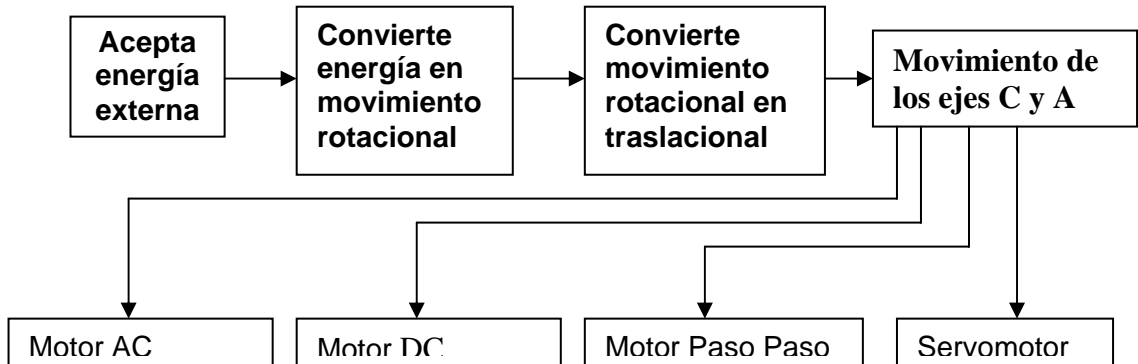
El mecanismo **biela – manivela** se utiliza para transformar el movimiento rectilíneo en circular, o viceversa. Al contrario de los dos mecanismos anteriores, en este caso el movimiento rectilíneo es de vaivén. Un ejemplo de la transformación de movimiento rectilíneo en circular se encuentra en el motor de un automóvil (pistón - biela - cigüeñal) o en las viejas locomotoras a vapor. En el caso contrario se encuentran los compresores de aire alternativos. Por lo que este tipo de mecanismo no es necesario puesto que el movimiento rectilíneo que se necesita es continuo y no de vaivén.

La **polea** transmite el movimiento entre ejes alejados, de manera poco ruidosa, la correa, sin embargo, sufre un desgaste importante con el uso y puede llegar a romperse. Hay que tensar bien, mediante un carril o un rodillo tensor, para evitar deslizamientos y variaciones de la relación de transmisión. La banda que mejor se ajusta al caso es la dentada por Gran sincronismo de marcha, Alta eficiencia 98%, Alta resistencia a la fatiga, Pueden comprarse abiertas o sinfín, Cubren una gran gama de pasos y anchos, Se fabrican con gran resistencia a altas temperaturas y al contacto con aceites y derivados del petróleo, por lo que también hay que tener en cuenta el uso de esta transmisión.

La **cadena** tiene posibilidad de empleo en una amplia gama de distancia entre centros, dimensiones exteriores menores que las transmisiones por correas, ausencia de deslizamiento, alta eficiencia, posibilidad de transmitir el movimiento a varias ruedas con una sola fuente de potencia, pero tiene irregularidad durante el funcionamiento de la transmisión, tienen una vida útil menor que la de los engranajes debido al desgaste que se produce en la articulación, exigen una precisión más alta en el montaje de los árboles que la de las transmisiones por correas, a medida que aumenta la velocidad periférica se exigen mejores condiciones de lubricación, por lo que no es recomendable por las características ya descritas.

Movimientos de los ejes C y A

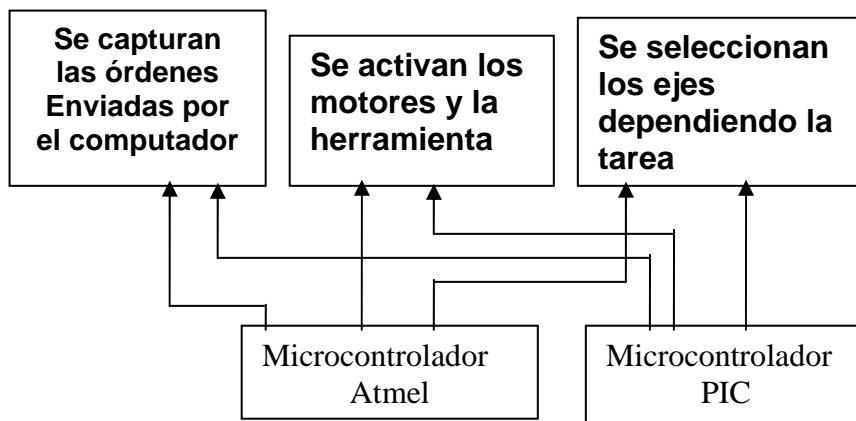
Figura 6. Movimientos de los ejes C y A



Como ya se observó anteriormente en la definición de los motores AC, DC, paso paso, servomotores, los más indicados para trabajos precisos a distancias pequeñas son los **motores paso paso** y los **servomotores** por lo que la selección de estos motores es correcta para realizar los movimientos de los ejes C y A.

Capturar las órdenes del computador, Activar motores y herramientas, seleccionar los ejes

Figura 7. Capturar las órdenes del computador, Activar motores y herramientas, seleccionar los ejes

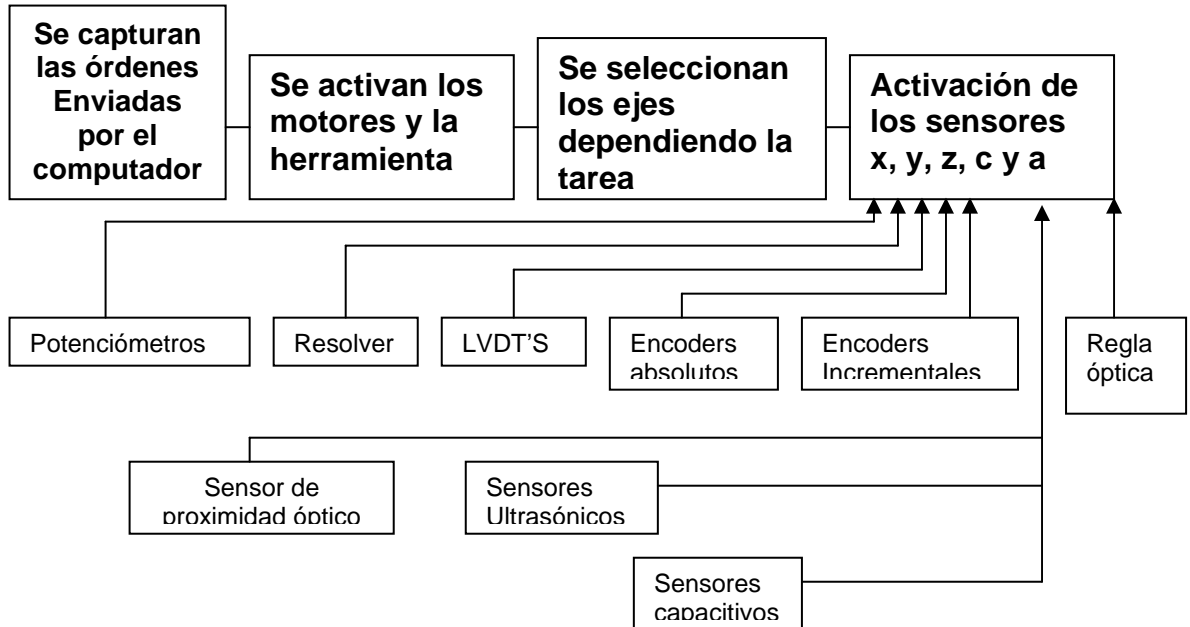


Los microcontroladores Atmel o PIC son dos dispositivos electrónicos muy útiles para capturar órdenes enviadas por computador, activación de motores, y selección de tareas, este tipo de dispositivos son muy útiles para programar diferentes tipos de trabajos, por lo que si hablamos de un punto general los dos poseen las características necesarias para satisfacer las necesidades requeridas, la selección de el tipo de microcontrolador a utilizar no dependerá de sus ventajas o desventajas electrónicas sino de cómo se sienta uno para

utilizar el dispositivo, por lo que se utilizara el microprocesador atmel para la tarea, ya que este tipo de microcontrolador fue objeto de estudio en la carrera.

Activación de los sensores x, y, z, c y a

Figura 8. Activación de los sensores x, y, z, c y a



Potenciómetros son dispositivos electromecánicos que constan de una resistencia de valor fijo sobre la cual se desplaza un contacto deslizante llamado cursor, el movimiento del cursor origina un cambio en la resistencia, el cual puede utilizarse para medir desplazamientos lineales o angulares de piezas acopladas al cursor.

Un gran problema que presenta este tipo de dispositivo es que con el tiempo sus piezas que lo conforman se van desgastando, ya que estos son de tipo mecánico, lo que puede ir generando errores en las medidas que entreguen y también el acople de este tipo de dispositivos es bastante complejo.

Los **Resolvers** son transformadores con un núcleo móvil, el cual manejando su posición se puede controlar el voltaje inducido en las dos bobinas de salida, donde el núcleo móvil se mueve de manera rotacional sobre la bobina, es decir que los resolvers permiten medir desplazamientos angulares, estos dispositivos son muy utilizados en medición y aplicación de control de medida de desplazamientos desde mediciones muy pequeñas (en el orden de micros) hasta distancias grandes por lo que son muy buenos en resolución, estabilidad térmica.

Los **LVDT'S** al igual que los resolvers son transformadores con un núcleo móvil, el cual manejando su posición se puede controlar el voltaje inducido en las dos bobinas de salida, donde el núcleo móvil se mueve de manera lineal sobre la bobina, es decir que los resolvers permiten medir desplazamientos lineales, estos presentan una alta linealidad, gran sensibilidad y una respuesta dinámica elevada, realiza medición de pequeños desplazamientos, y solo son capaces de producir salidas de bajo voltaje, siendo necesario tener mucho cuidado a la hora de realizar la amplificación de su señal.

Los **Encoders incrementales** convierten la rotación mecánica en pulsos electrónicos. Las señales de salida pueden ser utilizadas para determinar el sentido de rotación, medición de velocidad, recorridos y posicionamiento angular. El principio de funcionamiento de estos encoders es la exploración optoelectrónica sin contacto físico y libre de desgaste. Una aplicación ideal esta dada en robots de brazo oscilante, en donde los encoders incrementales BDG convierten el recorrido y el ángulo realizado, en señales electrónicas.

Los **Encoders absolutos** son empleados para convertir la posición mecánica en un valor eléctricamente definido. Miden posiciones absolutas, cada sector posee un código binario único, el cual puede estar en código binario y código gray dependiendo del encoder, este tipo de encoder transforma el movimiento rotacional en un una palabra de hasta 11 bits.

La **Regla Óptica** también conocidas como encoders lineales, mide desplazamiento lineal con mucha resolución y sin rozamiento por tratarse de tecnología óptica, permitiendo así millones de operaciones con una alta resolución. Su rango es de 60mm hasta 990mm y su resolución es de 3 y 10 micras según la serie, sus aplicaciones se dan en medida de distancia y posicionado en general de maquinaria para diferentes industrias, como la madera, cerámica, mármol, etc., en las que no existen grandes distancias y se requiere una alta precisión.

Los **Sensores Capacitivos** pueden variar su capacitancia de acuerdo a un cambio que se induce en un elemento sensible que este contiene, y ello causa que el material dieléctrico del dispositivo varíe por un elemento o material que puede ser un sólido o un líquido. El sensor es un condensador que esta constituido por un electrodo sensible y un electrodo de referencia, los cuales están separados por un material dieléctrico o aislante que puede variar. Estos electrodos pueden ser, por ejemplo, un disco y un anillo metálico separado por el material dieléctrico como por ejemplo una cavidad de aire seco. Este tipo de sensores son útiles para medir distancias muy pequeñas. Son susceptibles a los disparos en falso a causa de la acumulación de suciedad o humedad en la superficie de detección.

Los **sensores ultrasónicos** tienen un elemento básico que es un transductor electroacústico, frecuentemente del tipo cerámico piezoeléctrico. Puesto que el mismo transductor se suele utilizar para la transmisión y la recepción, un amortiguamiento rápido de la energía acústica es necesario para detectar objetos a pequeña distancia. El funcionamiento básico de un sensor ultrasónico consiste en emitir un sonido alrededor de los 50KHz, lo que hace es medir el tiempo transcurrido hasta detectar el eco, y así, se puede determinar la distancia al objeto mas próximo en la dirección en que se omitió el ultrasonido; el concepto manejado es el de Doppler. Este tipo de sensores tiene 30 grados de incertidumbre, dependiendo de la lejanía en que el objeto se encuentra.

Los **sensores infrarrojos**, se hace uso de este tipo de emisión de luz con la intención de detectar obstáculos sin contacto físico con el mismo. Esta compuesto por un diodo emisor y un fototransistor que es el receptor, una vez establecida la comunicación entre emisor y receptor, es posible realizar una transmisión de datos.

Según las definiciones anteriores los sensores que quizás podrían ser útiles en el desarrollo de este trabajo serian los siguientes: Potenciómetros, resolvers, encoders incrementales, encoders absolutos y los sensores infrarrojos.

5.8 TABLA DE COMBINACIÓN DE CONCEPTOS

Figura 9. Combinación de conceptos

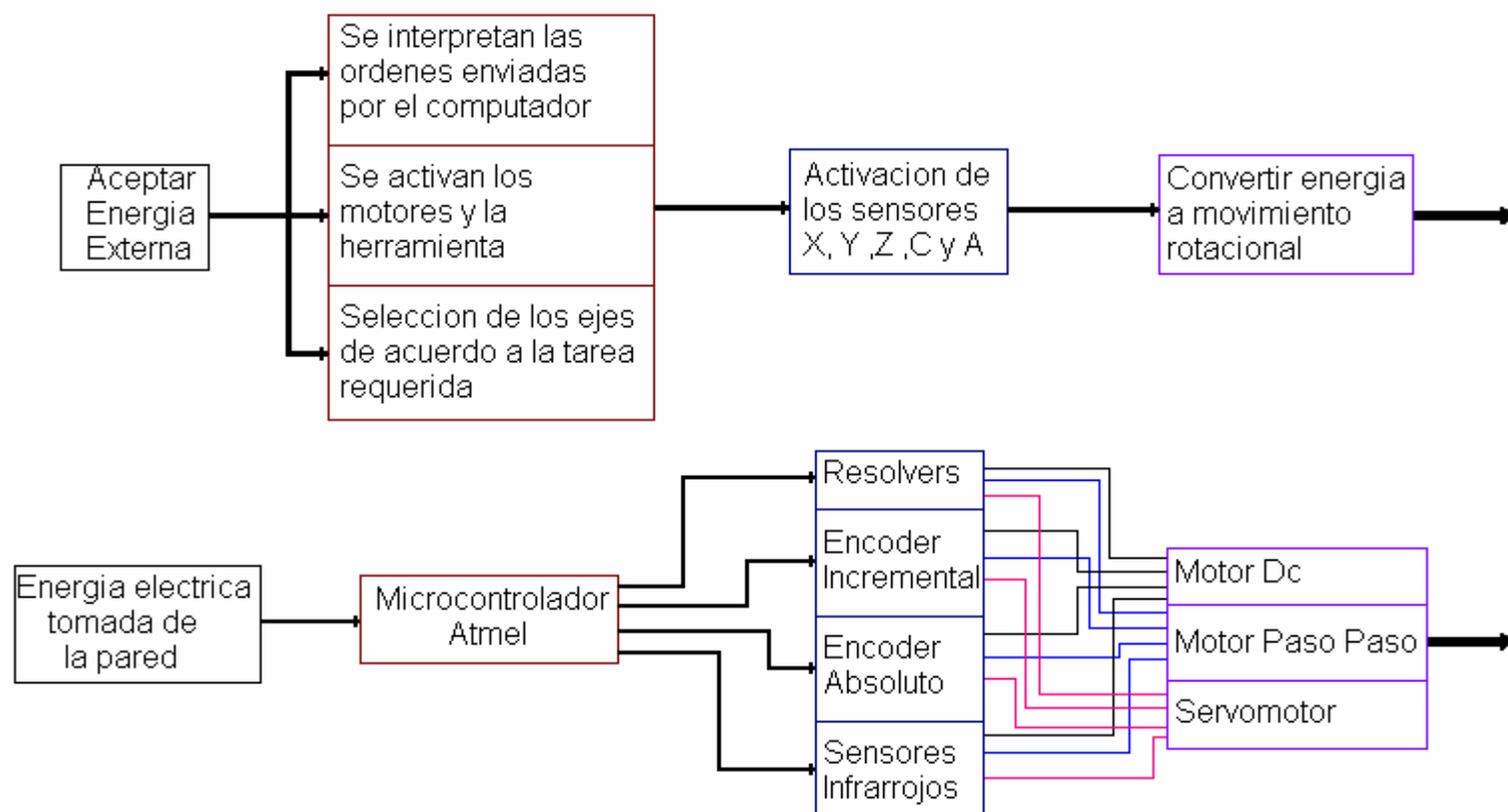
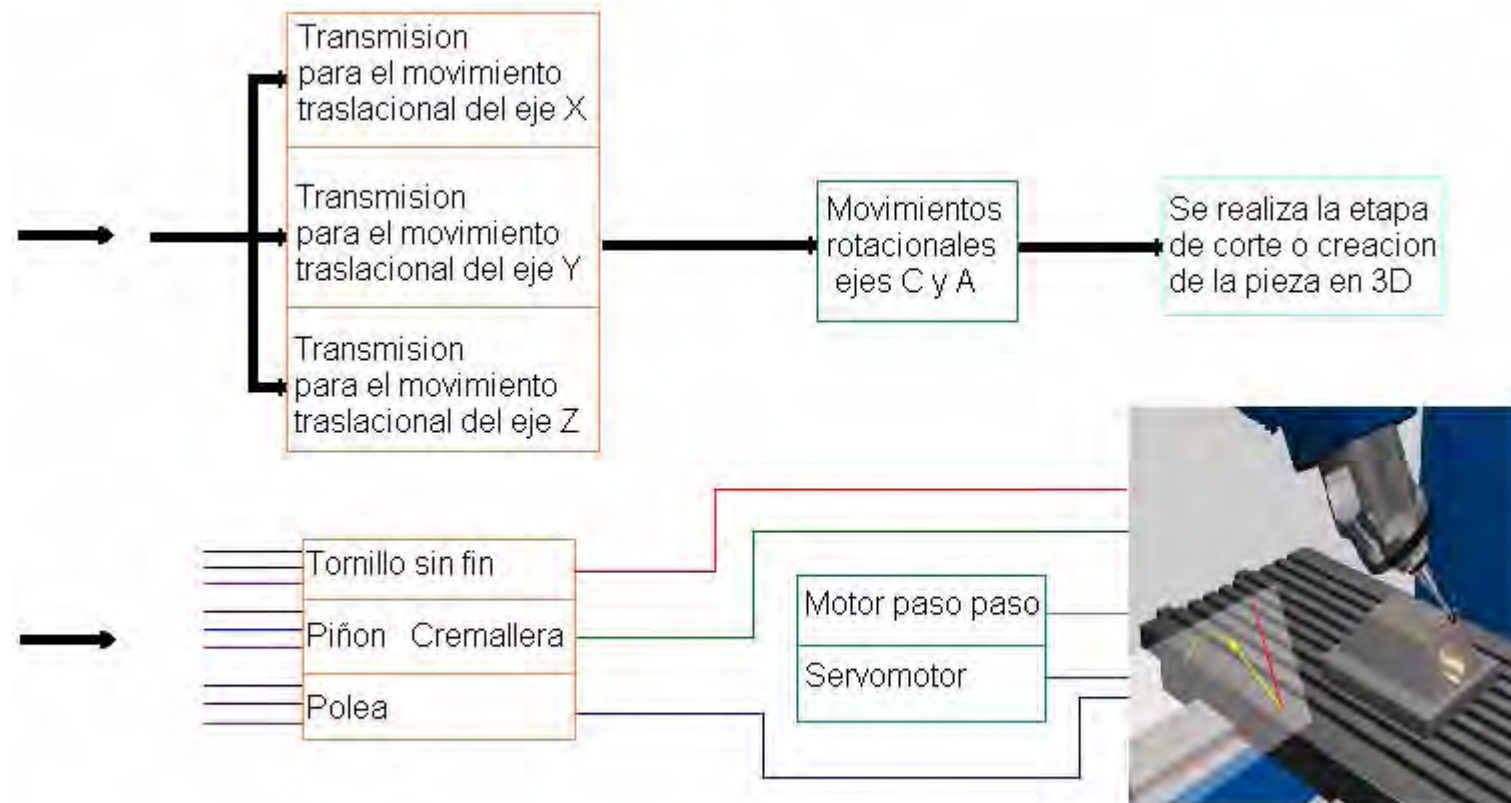


Figura 9a. Combinación de conceptos



6. SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Para desarrollar esta etapa se utiliza el único método estructurado: Matriz de Calificación de Conceptos, puesto que, al ser estructurado, tiene en cuenta las necesidades del cliente y no las que ven los desarrolladores, lo cual produce tomar decisiones más objetivas y no decisiones de tipo personal; además tiene en cuenta la competencia, entre otros.

Necesidades

- Que sea de rápida respuesta
- Que no pese mucho
- Dimensionamiento correcto
- Que tenga un mínimo desgaste
- Que no haga mucho ruido
- que tenga buena apariencia
- Que tenga buena precisión
- Facilidad de uso

Evaluación de los criterios

Tamizaje de conceptos

+: mejor que
0: igual a
- : peor que

Evaluación

1: mucho peor que
2: peor que
3: igual a
4: mejor que
5: mucho mejor que

6.1 MATRIZ PARA EL TAMIZAJE DE CONCEPTOS

A = Motor DC con piñón y cremallera eje x
B = Motor DC con polea y tornillo sin fin eje x
C = Motor DC con tornillo sin fin eje x
D = Motor pasos con piñón y cremallera eje x
E = Motor pasos con polea y tornillo sin fin eje x
F = Motor pasos con tornillo sin fin eje x
G = Servomotor con piñón y cremallera eje x
H = Servomotor con polea y tornillo sin fin eje x
I = Servomotor con tornillo sin fin eje x

J = Motor DC con piñón y cremallera eje y
K = Motor DC con polea y tornillo sin fin eje y
L = Motor DC con tornillo sin fin eje y
M = Motor pasos con piñón y cremallera eje y
N = Motor pasos con polea y tornillo sin fin eje y
Ñ = Motor pasos con tornillo sin fin eje y
O = Servomotor con piñón y cremallera eje y
P = Servomotor con polea y tornillo sin fin eje y
Q = Servomotor con tornillo sin fin eje y

1ª = motor paso paso eje C
1B = servomotor eje C
1C = motor paso paso Eje A
1D = servomotor Eje A

R = Motor DC con piñón y cremallera eje z
S = Motor DC con polea y tornillo sin fin eje z
T = Motor DC con tornillo sin fin eje z
U = Motor pasos con piñón y cremallera eje z
V = Motor pasos con polea y tornillo sin fin eje z
W = Motor pasos con tornillo sin fin eje z
X = Servomotor con piñón y cremallera eje z
Y = Servomotor con polea y tornillo sin fin eje z
Z = Servomotor con tornillo sin fin eje z

Tabla 9. Matriz 1 de selección de conceptos

		VARIANTES DE CONCEPTOS												
		EJE X								EJE Y				
Criterios de selección		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	REF.
Que sea de rápida respuesta		+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	0
Que no pese mucho		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo y facilidad de adquisición		+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	0	+	0
Que tenga un mínimo desgaste		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Que no haga mucho ruido		0	+	0	0	+	0	0	+	0	0	+	0	0
Que tenga buena apariencia		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Que tenga buena precisión		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Facilidad de uso		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
	Positivos	4	4	3	3	3	2	3	4	3	4	4	4	
	Iguales	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	
	Negativos	0	1	1	1	2	2	1	1	1	0	0	0	
	Total	4	3	2	2	1	0	2	3	2	4	4	4	
	Orden	1	2	4	5	8	9	7	3	6	2	3	1	
	¿Continuar?	Si	si	No	no	no	no	no	si	no	si	si	si	

Tabla 10. Matriz 1a de selección de conceptos

	VARIANTES DE CONCEPTOS											
	EJE Y						EJE Z					
Criterios de selección	M	N	Ñ	O	P	Q	R	S	T	U	V	REF.
Que sea de rápida respuesta	-	0	-	+	+	+	+	+	+	-	0	0
Que no pese mucho	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo y facilidad de adquisición	+	0	+	-	-	-	+	0	+	+	0	0
Que tenga un mínimo desgaste	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Que no haga mucho ruido	0	+	0	0	+	0	0	+	0	0	+	0
Que tenga buena apariencia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Que tenga buena precisión	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Facilidad de uso	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Positivos	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	
Iguales	4	5	4	4	3	4	4	4	4	4	5	
Negativos	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	
Total	2	3	2	2	3	2	4	4	4	2	3	
Orden	8	4	9	6	5	7	2	3	1	9	5	
¿Continuar?	no	Si	no	no	no	no	Si	si	si	No	no	

Tabla 11. Matriz 1b de selección de conceptos

	VARIANTES DE CONCEPTOS				
Criterios de selección	W	X	Y	Z	REF.
Que sea de rápida respuesta	-	+	+	+	0
Que no pese mucho	0	0	0	0	0
Costo y facilidad de adquisición	+	-	-	-	0
Que tenga un mínimo desgaste	0	0	0	0	0
Que no haga mucho ruido	0	0	+	0	0
Que tenga buena apariencia	0	0	0	0	0
Que tenga buena precisión	+	+	+	+	0
Facilidad de uso	+	+	+	+	0

EJE Z				
	W	X	Y	Z
Positivos	3	3	4	3
Iguales	4	4	3	4
Negativos	1	1	1	1
Total	2	2	3	2
Orden	8	7	4	6
¿Continuar?	No	no	no	no

En esta tabla comparamos cada uno de los conceptos con las necesidades del cliente que se relacione con los conceptos a analizar con respecto a una referencia establecida, la cual nos ayuda a decidir qué o cuáles conceptos definitivamente no son viables para el desarrollo de este problema. Es así, como determinamos fácilmente que los conceptos A, B, H para el eje X, los conceptos K, J, L y N son los tomados para el eje Y, los conceptos generados para el eje Z son R, S, T. Con los conceptos restantes, se realiza algo similar, pero antes realizando combinaciones de conceptos (si se puede) comparándolo con el supuesto mejor concepto de esta tabla, y es así como se obtiene el concepto a desarrollar. En este caso, no se pudo realizar combinaciones, y se consiguieron los siguientes resultados de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 12. Matriz 2 de selección de conceptos

		VARIANTES DE CONCEPTOS EJE X					
		B (Referencia)		A		H	
Criterios de selección	% Pondera	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
Que sea de rápida respuesta	20	5	1	4	0,8	5	1
Que no pese mucho	10	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Costo y facilidad de adquisición	10	3	0,3	5	0,5	2	0,2
Que tenga un mínimo desgaste	5	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Que no haga mucho ruido	5	4	0,2	3	0,2	4	0,20
Que tenga buena apariencia	10	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Que tenga buena precisión	25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
Facilidad de uso	15	4	0,6	4	0,6	4	0,6
TOTAL		4,1		4,1		4	
ORDEN		2		1		3	
¿CONTINUAR?		NO		DESARROLLAR		NO	

Tabla 13. Matriz 2a de selección de conceptos

		VARIANTES DE CONCEPTOS EJE Y							
		K (Referencia)		J		N		L	
		Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
Criterios de selección	% Pondera								
Que sea de rápida respuesta	20	5	1	3	0,6	3	0,6	4	0,8
Que no pese mucho	10	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Costo y facilidad de adquisición	10	3	0,3	4	0,3	3	0,3	5	0,5
Que tenga un mínimo desgaste	5	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Que no haga mucho ruido	5	4	0,2	3	0,15	4	0,20	3	0,15
Que tenga buena apariencia	10	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Que tenga buena precisión	25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
Facilidad de uso	15	4	0,6	4	0,6	4	0,6	4	0,6
TOTAL		4,1		3,65		3,7		4,05	
ORDEN		1		3		4		2	
¿CONTINUAR?		Muy posiblemente		NO		NO		DESARROLLAR	

Tabla 14. Matriz 2b de selección de conceptos

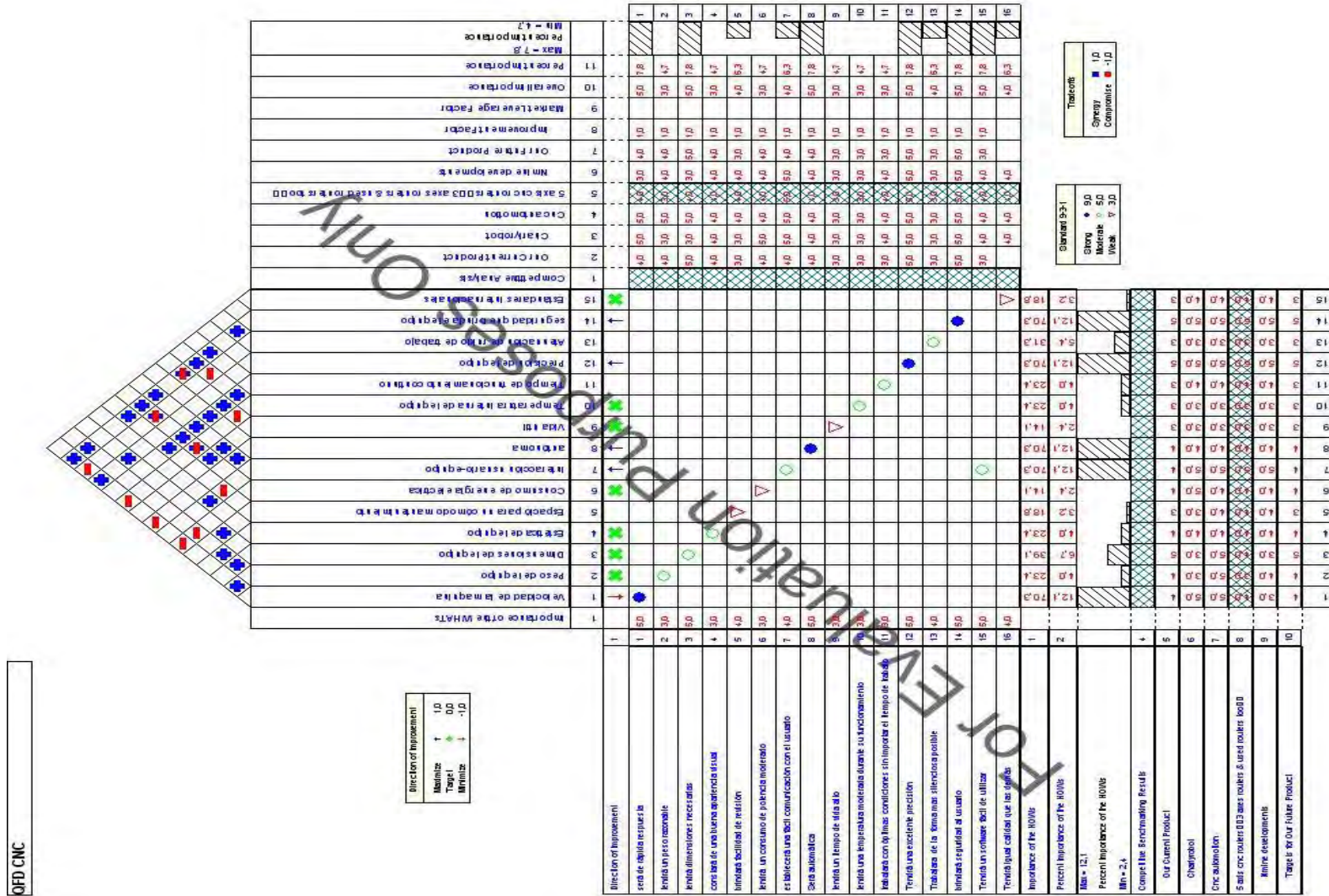
		VARIANTES DE CONCEPTOS EJE Z					
		R (Referencia)		S		T	
Criterios de selección	% Pondera	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
Que sea de rápida respuesta	20	4	0,8	5	1	4	0,8
Que no pese mucho	10	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Costo y facilidad de adquisición	10	4	0,4	3	0,4	5	0,5
Que tenga un mínimo desgaste	5	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Que no haga mucho ruido	5	3	0,15	4	0,15	3	0,15
Que tenga buena apariencia	10	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Que tenga buena precisión	25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
Facilidad de uso	15	4	0,6	4	0,6	4	0,6
TOTAL		3,95		4,15		4,05	
ORDEN		3		1		2	
¿CONTINUAR?		NO		Muy posiblemente		DESARROLLAR	

Tabla 15. Matriz 3 de selección de conceptos

		VARIANTES DE CONCEPTOS EJE C				VARIANTES DE CONCEPTOS EJE A			
		1A (Referencia)		1B		1C		1D	
		Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
Criterios de selección	% Pondera								
Que sea de rápida respuesta	20	5	1	5	1	5	1	5	1
Que no pese mucho	10	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Costo y facilidad de adquisición	10	5	0,5	2	0,2	5	0,5	2	0,2
Que tenga un mínimo desgaste	5	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Que no haga mucho ruido	5	4	0,2	4	0,2	4	0,20	4	0,2
Que tenga buena apariencia	10	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Que tenga buena precisión	25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
Facilidad de uso	15	4	0,6	4	0,6	4	0,6	4	0,6
TOTAL		4,3		4		4,3		4	
ORDEN		1		3		4		2	
¿CONTINUAR?		Muy posiblemente		NO		NO		DESARROLLAR	

A través de esta tabla se obtuvo el mejor concepto para poder implementarlo en el proyecto, asegurando que satisfacen las necesidades del cliente, puesto que se realizó una selección estructurada, basada en las necesidades del cliente y no en las del diseñador. Así se pudo seleccionar de una manera más correcta el tipo de motor a utilizar para los ejes C y B

6.2 QFD



Después de analizar con mas detenimiento los conceptos anteriores sobre los sensores y de observar las necesidades de la máquina a satisfacer, los sensores adecuados fueron los siguientes: **Encoders Absolutos** para los ejes X, Y, Z y los **Sensores infrarrojos y Encoders Incrementales** para los ejes C y A.

7. PRUEBA DE CONCEPTOS

En esta sección se debe escoger que parte del mercado se quiere encuestar para ver el impacto que daría el producto, como afrontaría ese grupo de personas el nuevo dispositivo, se analiza si podrían obtenerlo y si en realidad estarían dispuestos a adquirirlo, pero ya que en este caso es un diseño que solo va dirigido a una sola entidad no hay necesidad de realizar este paso ya que este producto aun no se lo ha pensado en lanzar en el mercado.

7.1 ESPECIFICACIONES FINALES

Tabla 16. Especificaciones Finales

#	Métrica	Unidades	Valores
1	Velocidad de la máquina	mm/s	>10
2	Peso del equipo	Kg	<120
3	Dimensiones del equipo (X,Y,Z)	M	6,1.8,1.2
4	Estética del equipo	Subj	Buena
5	Espacio para un cómodo mantenimiento	Subj	Adecuado
6	Consumo de energía eléctrica	Kw/h	< 1
7	Interacción usuario-equipos	Subj	Excelente
8	Autónoma	Binaria	si
9	Vida útil	Años	< 6
10	Temperatura interna del equipo	°C	<37
11	Tiempo de funcionamiento continuo	Horas	<8
12	Precisión del equipo	Mm	<=2,54
13	Atenuación de ruido de trabajo	dB	<11
14	seguridad que brinda el equipo	%	>90

8. ARQUITECTURA DE PRODUCTOS

En esta sección se analizarán los elementos funcionales de la máquina de como se constituirán y donde quedarán sus partes básicas, y además se escogerá el tipo de arquitectura que se implementará, tipo modular o integral.

Para la arquitectura modular.

- Los conjuntos implementan una o pocas funciones.
- La interacción de los conjuntos esta bien definida
- Ventajas de simplicidad en sus componentes.

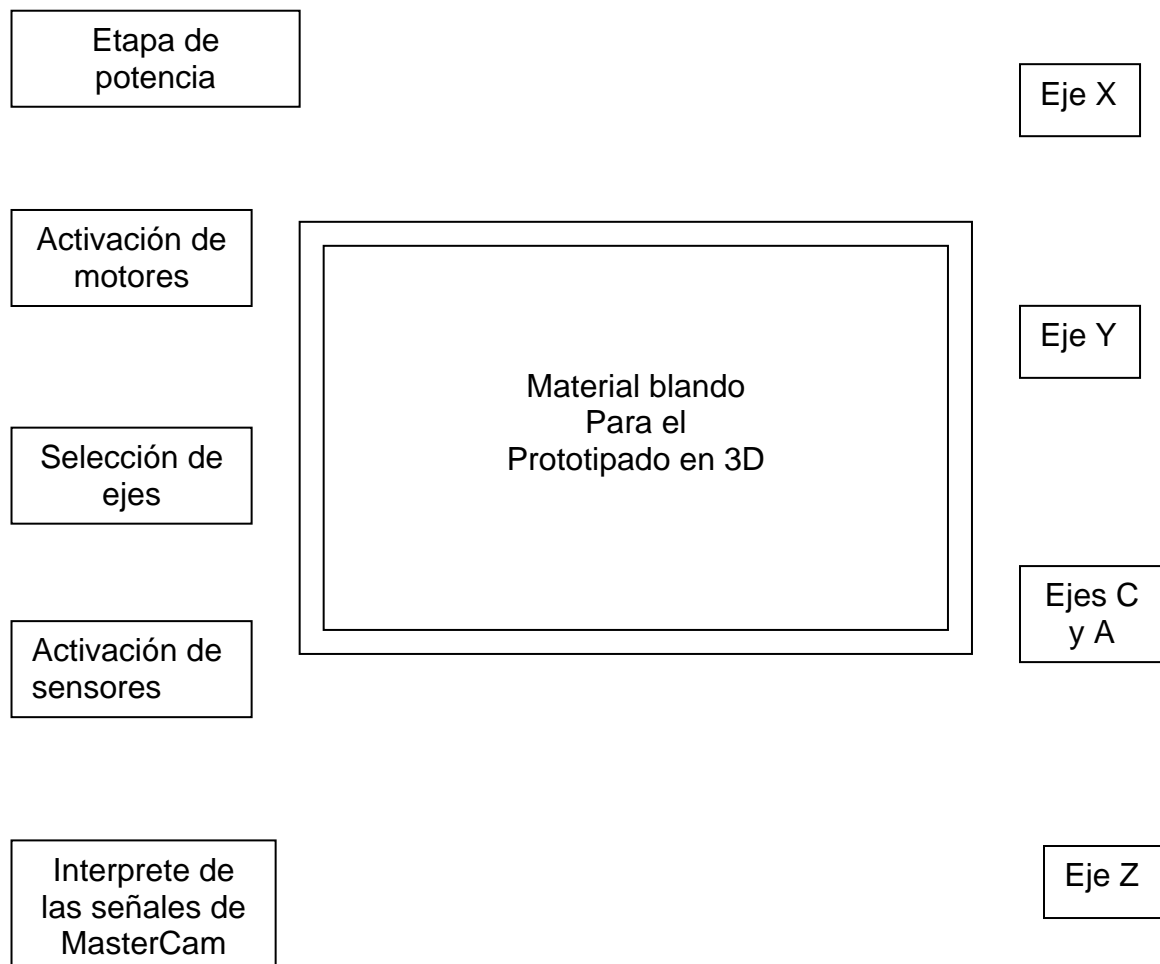
Para la arquitectura integral

- Los elementos funcionales son implementados por varios conjuntos
- La interacción entre los conjuntos se encuentra pobremente definida
- Desempeño elevado y reducción de costos

Debido a las premisas y restricciones la arquitectura de la máquina debe ser modular, el tipo de modularidad será tipo por conectores (articulaciones).

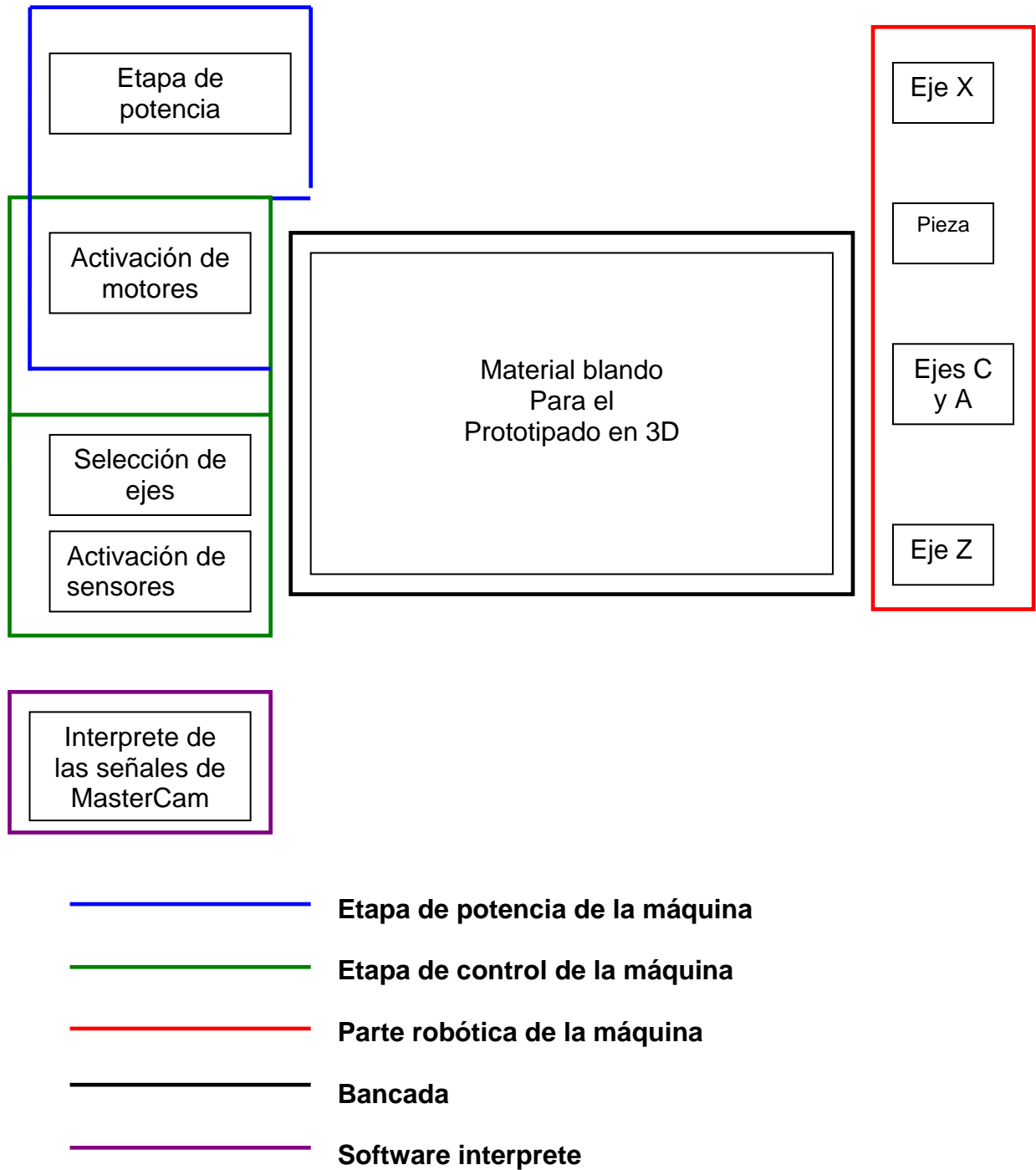
8.1 ESQUEMA DEL PRODUCTO

Figura 10. Esquema del producto



8.2 ESQUEMA DE ELEMENTOS A CONJUNTOS

Figura 11. Esquema de elementos a conjuntos



8.3 DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA (LAYOUT)

Estas graficas permiten observar como estará distribuida la máquina, cuales son sus partes, su distribución en el espacio y da información de su estructura, su forma, trayectorias y visualiza como realizará su desempeño.

Figura 12. Layout

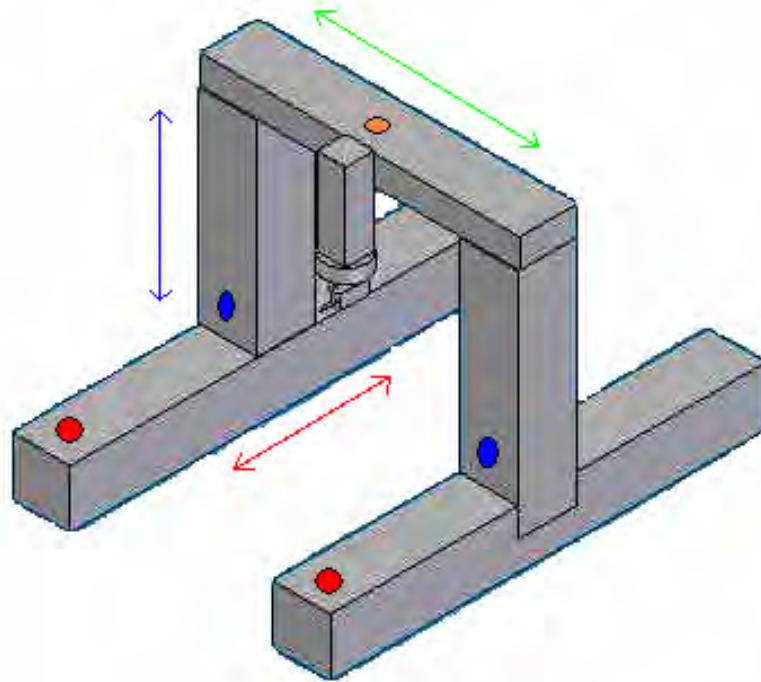
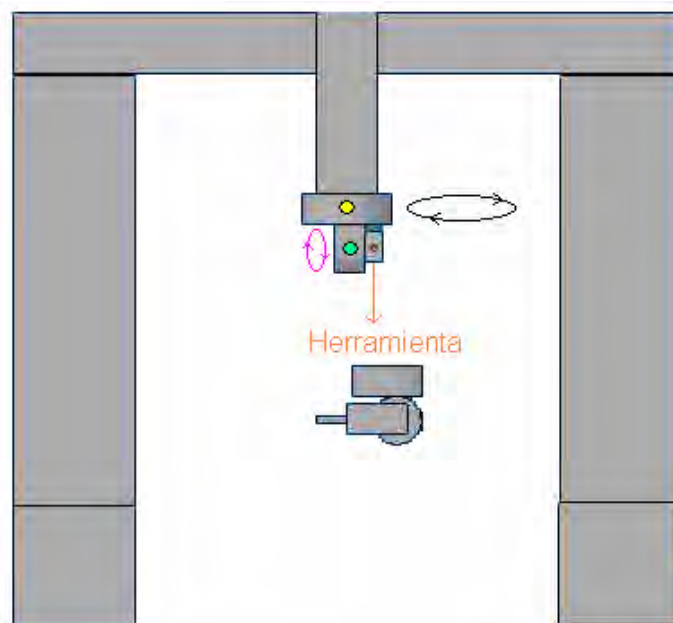
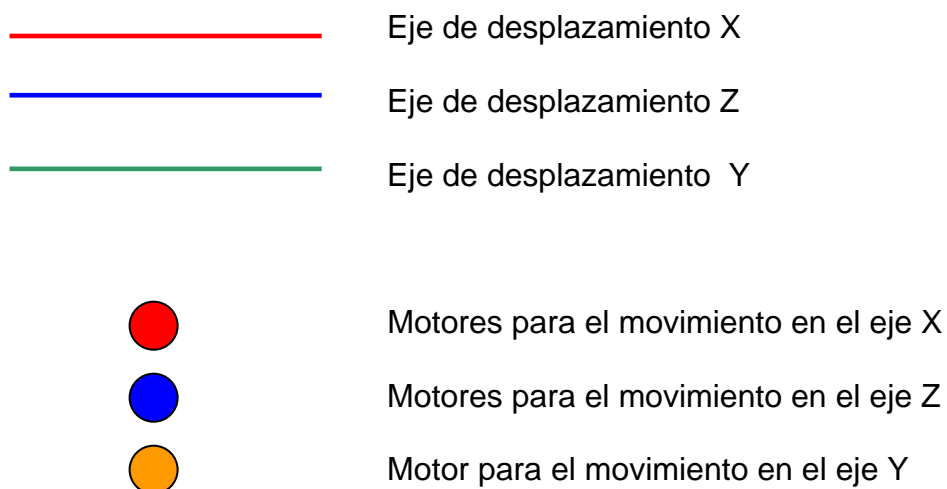


Figura 13. Layout

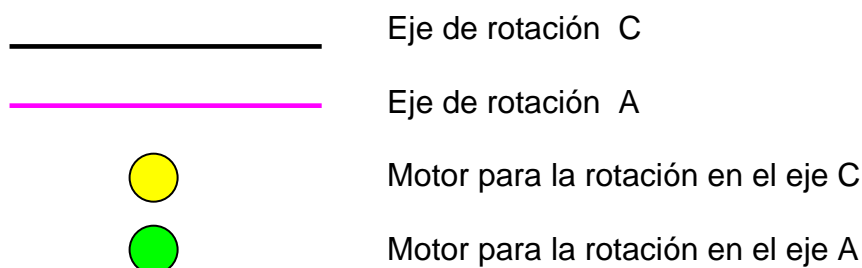


8.4 INTERACCIONES FUNDAMENTALES

Como se puede ver en la figura 12 la máquina realiza desplazamientos sobre diferentes tipos de planos o ejes para poder realizar la tarea programada, ayudada de sus respectivos motores que también se encuentran ubicados dentro de la máquina y muestra su posible ubicación, esto se explicara a continuación.



Los otros dos grados de libertad son el eje C y el eje A que se los puede observar en la figura 13 los cuales también tiene ubicados sus respectivos motores con su posible ubicación y a continuación se explicara cual es de cada uno.

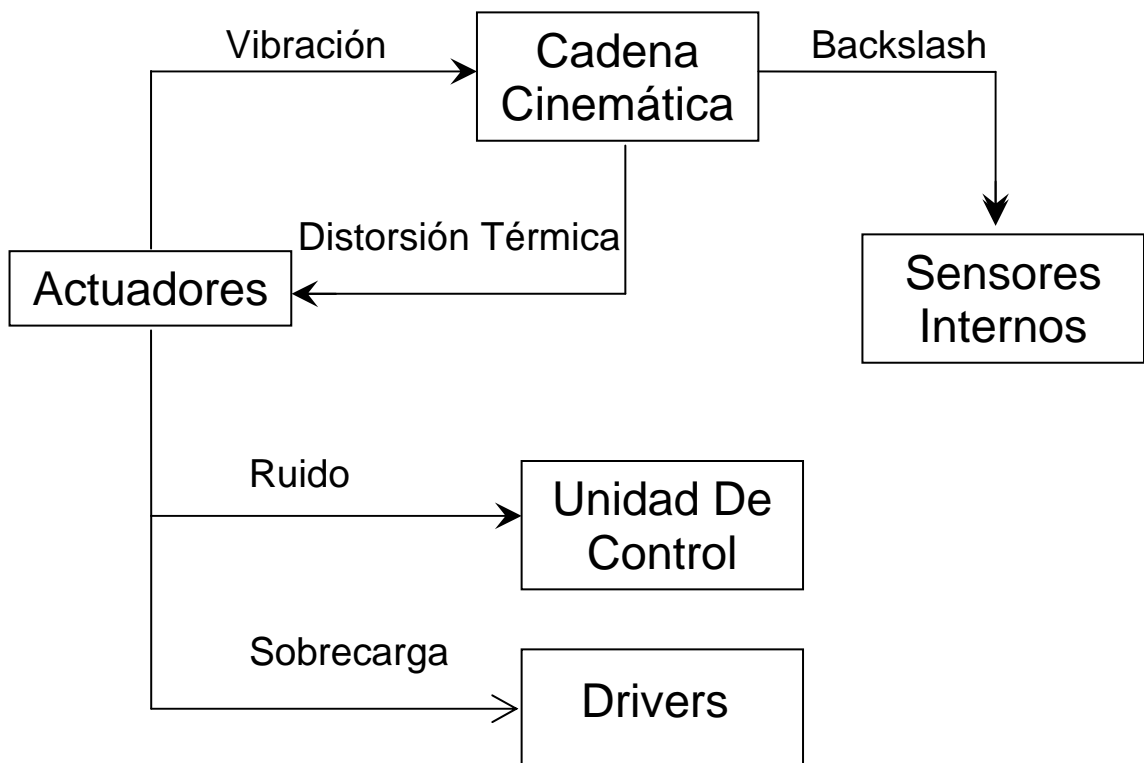


Con los ejes de desplazamiento y los de rotación la máquina completa 5 grados de libertad los cuales le proporcionan la capacidad de cumplir con la tarea que se es requerida para este proyecto sin contar los otros múltiples usos que puede tener.

8.5 INTERACCIONES INCIDENTALES

Son aquellas interacciones que afectan el desempeño del máquina las cuales no se encuentran planeadas en las interacciones fundamentales.

Figura 14. Interacciones incidentales



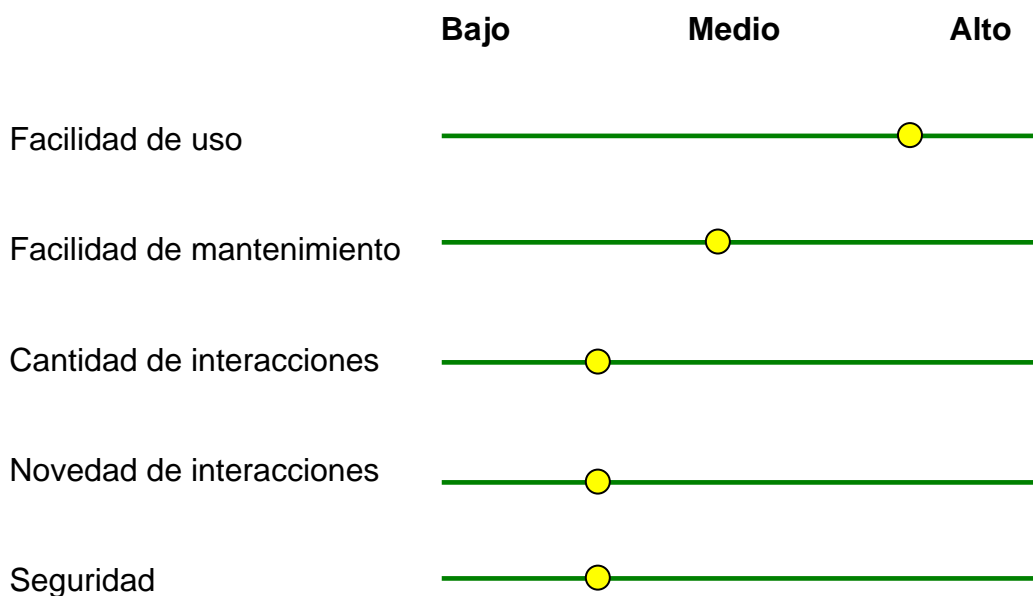
En la figura 14 se puede ver que es posible que los drivers de los motores sufran una sobrecarga, esto proporcionara que los actuadores trabajen mal y causen vibraciones lo que puede afectar los sensores ubicados en las cadenas cinemáticas de los ejes C y A y también hará que estas partes proporcionen ruido lo que provocara que la unidad de control trabaje mal.

9. DISEÑO INDUSTRIAL

El diseño industrial evalúa las necesidades del cliente para aumentar la función, el valor y la apariencia de los productos para una mejor aceptación en cuanto a su estética, entonces para evaluar el nivel de importancia del diseño industrial en un producto se debe identificar las siguientes necesidades.

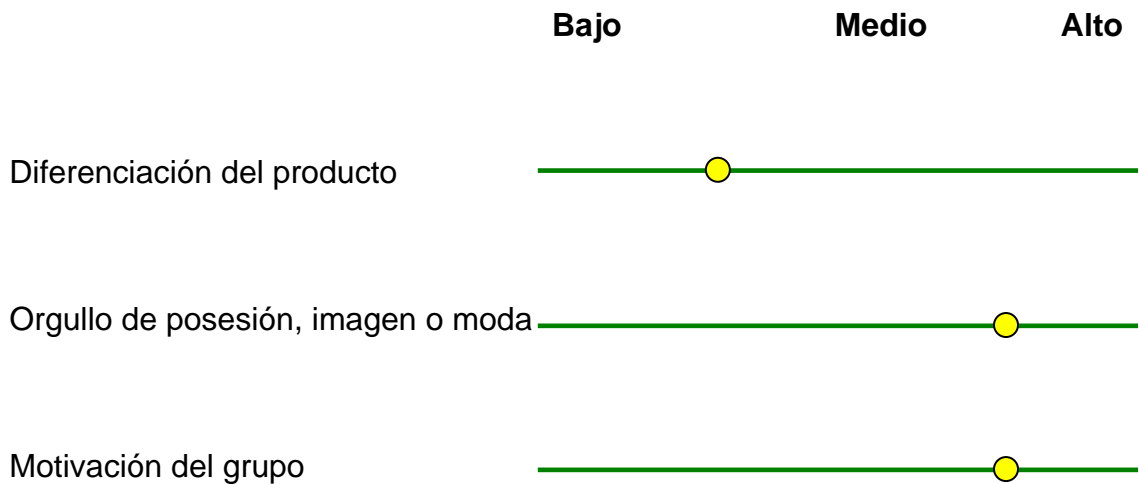
- **Necesidades ergonómicas:** se relaciona con todos los aspectos de las interfases con los humanos.
- **Necesidades estéticas:** relacionado con el impacto visual del producto.

9.1 EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES ERGONÓMICAS



En este cuadro se han evaluado las necesidades ergonómicas como la facilidad de uso de la máquina donde se expresa que tan importante es, a su vez se debe indicar también la importancia de la facilidad de mantenimiento, cuantas interacciones se necesitan del usuario para que la máquina funcione, que tan novedosas son esas interacciones y cuan importantes son los aspectos de seguridad a considerar.

9.2 EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES ESTÉTICAS



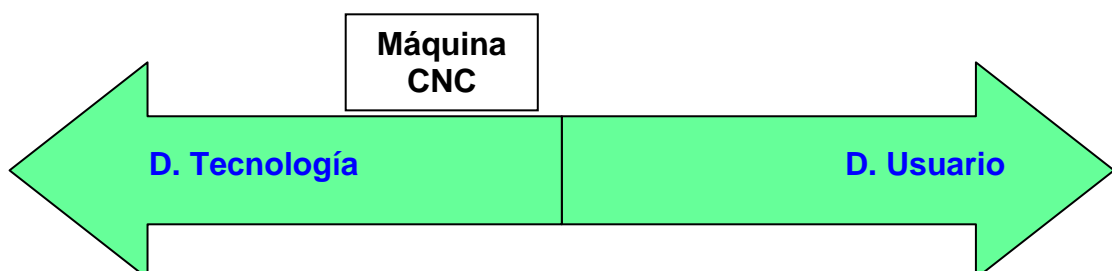
En la evaluación de las necesidades estéticas se denomina la importancia de que el producto a desarrollar sea diferente de los otros, que tan significativo es el desarrollo del mismo para el orgullo de posesión, la imagen o la moda y si en verdad que tan sustancial es el proceso del producto para la motivación del grupo o del individuo a cargo.

9.3 NATURALEZA DEL PRODUCTO

En esta parte del diseño industrial se evalúa lo que es la parte de la naturaleza del producto y la evaluación de calidad, en donde la naturaleza del producto se divide en:

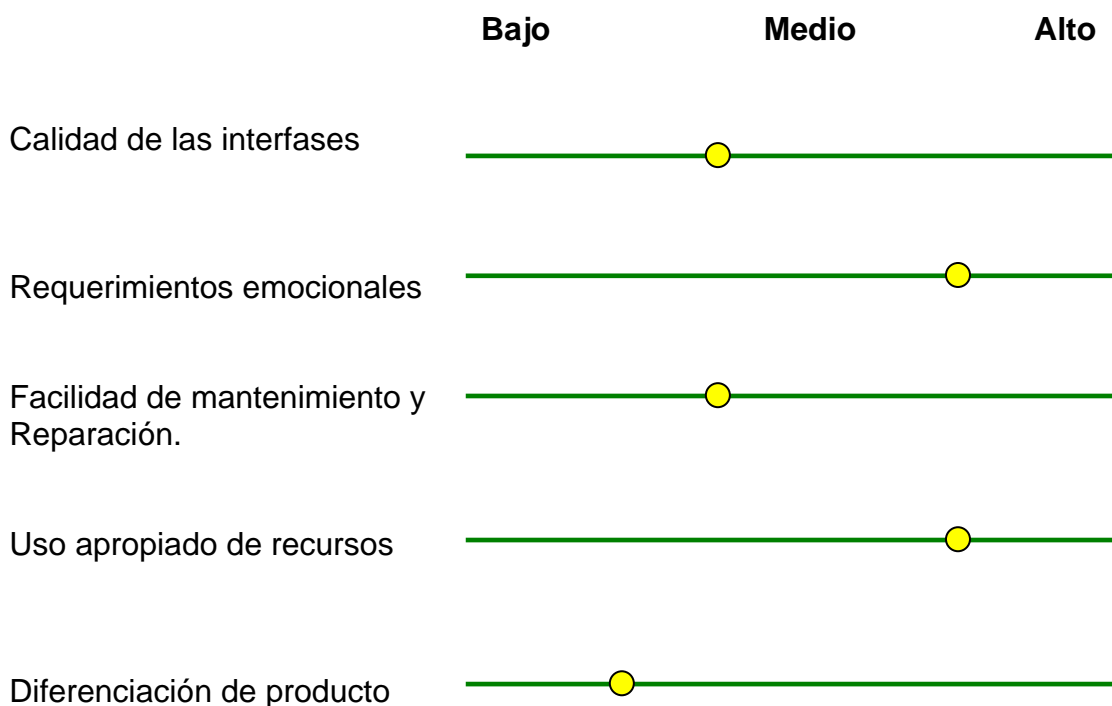
- **Productos dominados por la tecnología**
- **Productos dominados por el usuario**

Figura 15. Naturaleza del Producto



En los productos dominados por la tecnología los aspectos técnicos predominan por encima de los estéticos y la intervención del usuario es muy poca, en los productos dominados por el usuario los aspectos estéticos predominan por encima de los técnicos por lo que la participación del usuario es mucha en este tipo de productos, esto significa que la máquina CNC esta ubicada por el lado del dominio tecnológico ya que la asistencia del usuario generalmente es muy poca debido a que la máquina es casi automática como se ve en la figura 15.

9.4 EVALUACIÓN DE CALIDAD



En la evaluación de calidad hay que calcular que tan fácil es de usar el producto, que tan intuitivo en cuanto a su uso es, si el producto es orgullo para el desarrollador, si expresa calidad, si el mantenimiento de la máquina es obvio o fácil, si los recursos o materiales utilizados para desarrollar la máquina han sido pensados en aspectos económicos, ambientales y ecológicos, y por ultimo en la exclusividad del producto que tanto se diferencia de los otros productos.

10. DISEÑO PARA MANUFACTURA

El diseño para la manufactura es una practica de desarrollo que enfatiza en los aspectos de manufactura (Producción) a través de todo el proceso de desarrollo, por otro lado, es una filosofía encaminada a desarrollar un buen proceso durante todo el transcurso de la producción enfocado a los aspectos de manufactura y reducción de costos sin sacrificar la calidad final del producto.

El análisis del diseño para manufactura (DPM) se enfatizó en los costos tanto de los componentes estándar como propios, teniendo en cuenta que algunos de ellos deberán ser importados, como es el caso los servomotores, mientras que otros pueden ser adquiridos localmente con facilidad. También debe tenerse en cuenta que todos los componentes serán adquiridos, es decir, serán comprados por catálogo o encargados a fabricar con las especificaciones necesarias.

10.1 COSTO DE MANUFACTURA

En esta sección nos encargamos de evaluar los componentes propios y estándares necesarios para el diseño junto con sus costos, también analizamos la parte de ensamblaje en donde miramos los costos de la mano de obra, junto con los equipos y operaciones necesarias.

Partes Standard

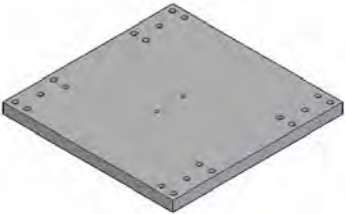
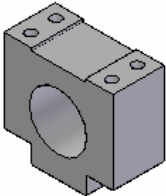
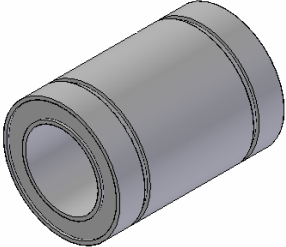

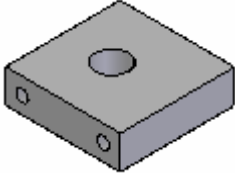
Las piezas utilizadas para diseñar la máquina son extraídas de los catálogos de **PIC-Design** el cual es un suministrador de componentes industriales de precisión y brinda diferentes de tipos de mecanismos los cuales son modulares y al final son muy útiles para este tipo de máquina.

En la siguiente tabla se mostrara todas las partes que se encuentran ya fabricadas, las cuales pueden ser pedidas por catálogos por su respectiva referencia.

Eje Z





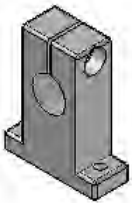

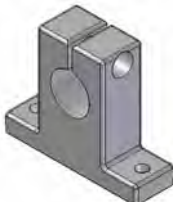

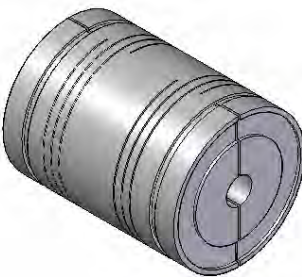

Tabla 17. Partes Standard eje Z


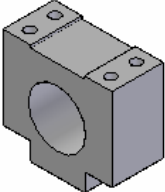
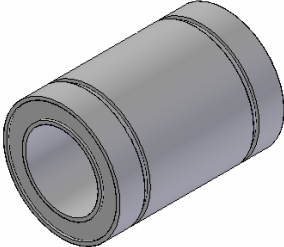

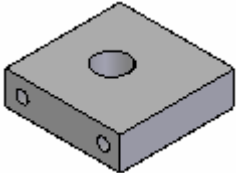
Pieza	Cantidad	Material	Referencia
 Eje	4	Acero inoxidable 303	MA11-20-1800mm
 Tornillo sin fin	2	Acero inoxidable 303	 ARS1X5010-72 in
 Soporte para eje	8	Aluminio fundido	MSAH-20 
 Soporte para tornillo sin fin	4	Aluminio	S7-5
 Acople para motor y tornillo sin fin	2	Aluminio	T22A-37

 <p>Base del posicionador</p>	2	Aleación de aluminio 6061	MLMT20-200 ★
 <p>Soporte del posicionador</p>	8	Aluminio	MSC-20 ★
 <p>Rodamiento lineal para posicionador</p>	8	Plástico para ingeniería auto lubricado	MPLC-20 ★
 <p>Rodamiento de rotación para tornillo sin fin</p>	4	Acero inoxidable	ES-500
 <p>Tuerca para tornillo sin fin</p>	2	Aluminio	S12-6

Eje Y

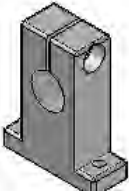
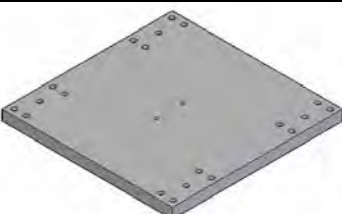
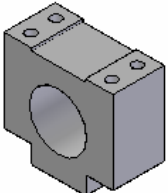
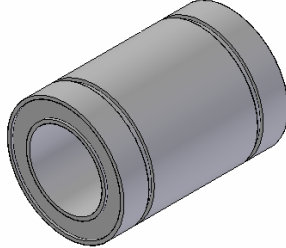
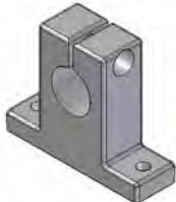
Tabla 18. Partes Standard eje Y

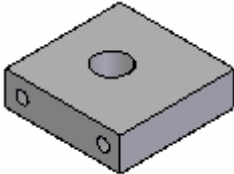
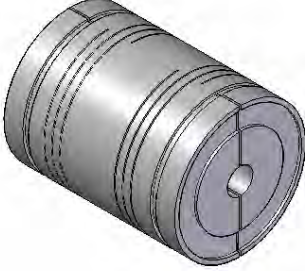
Pieza	Cantidad	Material	Referencia
 <p>Eje</p>	2	Acero inoxidable 303	A11-12-57,44in 
 <p>Tornillo sin fin</p>	1	Acero inoxidable 303	ARS1X5010-57,3 in 
 <p>Soporte para eje</p>	4	Aluminio fundido	SAH-12 
 <p>Soporte para tornillo sin fin</p>	2	Aluminio	S7-5 
 <p>Acople para motor y tornillo sin fin</p>	1	Aluminio	T22A-37 

 <p>Base del posicionador</p>	1	Aleación de aluminio 6061	LMT100-75 ✦
 <p>Soporte del posicionador</p>	4	Aluminio	S5-15S ✦
 <p>Rodamiento lineal para posicionador</p>	4	Plástico para ingeniería auto lubricado	PLC-12 ✦
 <p>Rodamiento de rotación para tornillo sin fin</p>	2	Acero inoxidable	ES-500 ✦
 <p>Tuerca para tornillo sin fin</p>	1	Aluminio	S12-6 ✦

Eje X

Tabla 19. Partes Standard eje X


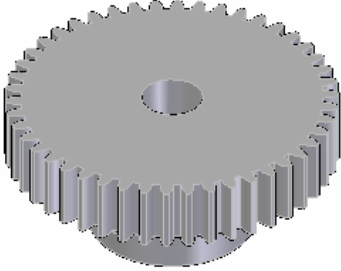
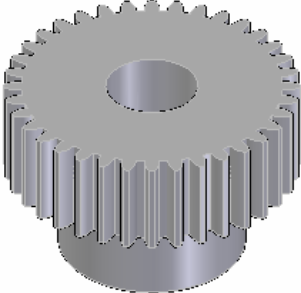
Pieza	Cantidad	Material	Referencia
 Soporte para eje	8	Aluminio fundido	MSAH-20
 Base del posicionador	2	Aleación de aluminio 6061	MLMT20-200
 Soporte del posicionador	8	Aluminio	MSC-20
 Rodamiento lineal para posicionador	8	Plástico para ingeniería auto lubricado	MPLC-20
 Soporte para tornillo sin fin	4	Aluminio	S7-5

 Tuerca para tornillo sin fin	2	Aluminio	S12-6
 Acople para motor y Tornillo sin fin	2	Aluminio	T22A-37

Eje C y A

Tabla 20. Partes Standard eje C y A

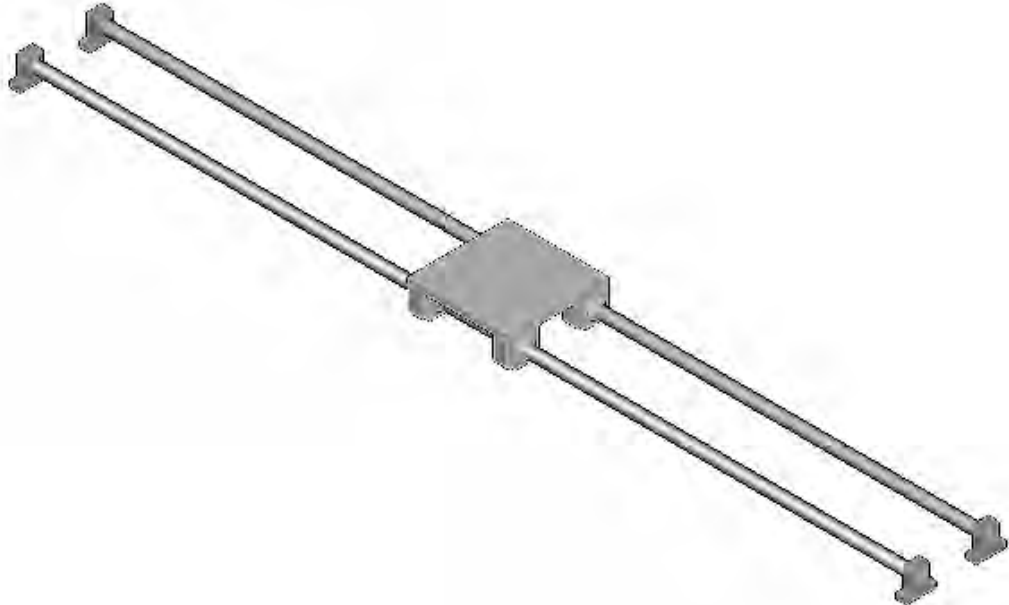
Pieza	Cantidad	Material	Referencia
 Rodamiento para eje C y eje A	2	Acero Inoxidable	MES-15
 Engrane del eje A	1	Acero Inoxidable 303	G3-40

 <p>Piñón del eje A</p>	1	Acero Inoxidable 303	G3-24
 <p>Engrane del eje C</p>	1	Acero Inoxidable 303	G59-36
 <p>Piñón del eje C</p>	1	Acero Inoxidable 303	G81-36



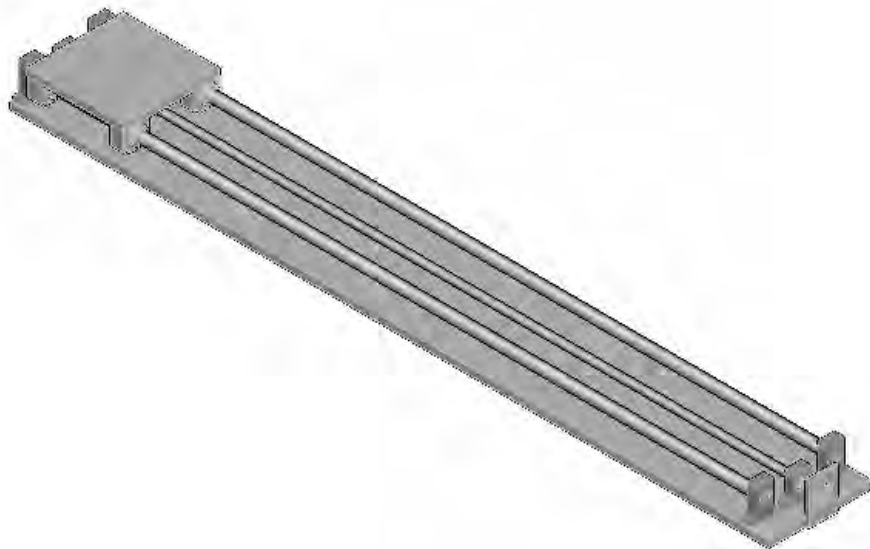
Todas las piezas que tienen este símbolo hacen parte de un sistema estándar que si uno lo quiere viene ensamblado de fábrica y la referencia para pedir estas partes individuales o ensambladas es la siguiente: MLS520-1800EP que ayudaría a construir de una manera más rápida el eje Z, en la figura 16 se observa el sistema.

Figura 16. MLS520-1800EP



El eje Y en su totalidad también puede ser pedido por catalogo ensamblado lo que facilitaría el acople de la máquina, la referencia que se usa para hacer el pedido es la siguiente: LS712-48-41, la figura 17 muestra el pedido.

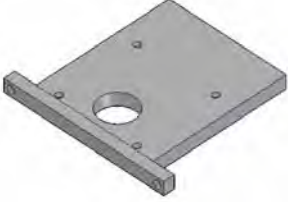

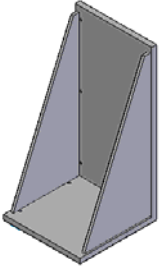
Figura 17. LS712-48-41



Partes Propias

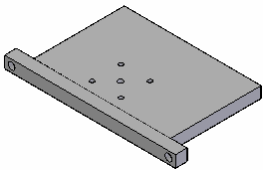
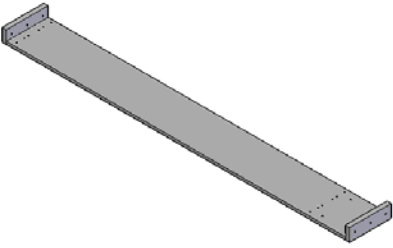
Eje Z

Tabla 21. Partes propias eje Z

Pieza	Cantidad	Material
 Base para motor	2	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 Base del eje Z	2	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 Pilar de unión entre el eje z y el eje y	2	Aleación de aluminio 6061, Acero Inoxidable 304


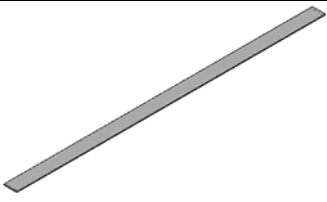
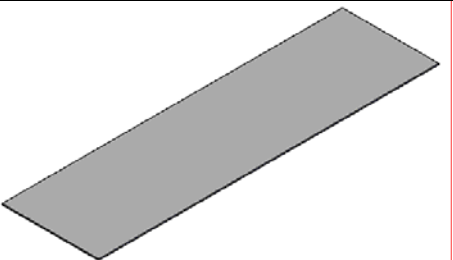

Eje Y

Tabla 22. Partes propias eje Y

Pieza	Cantidad	Material
 Base para motor	1	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 Base del eje Y	1	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304

Eje X

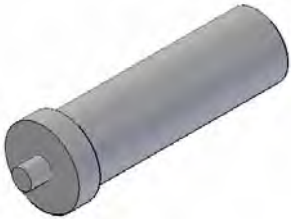


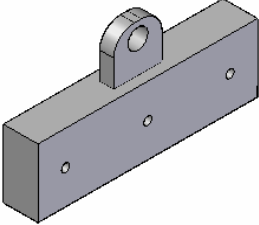
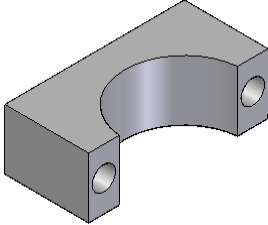
Tabla 23. Partes propias eje X

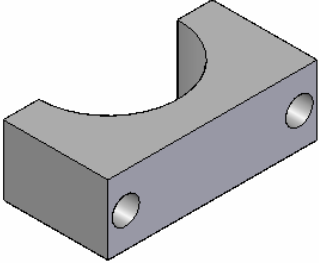
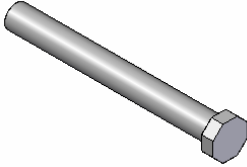
Pieza	Cantidad	Material
 <p>Eje</p>	4	Acero inoxidable 303, 304
 <p>base para eje X</p>	2	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 <p>Piso de la máquina</p>	1	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 <p>Tornillo sin fin</p>	2	Acero inoxidable 303,304

Eje C y A

Tabla 24. Partes propias eje C y A

Pieza	Cantidad	Material
 Soporte entre eje C y eje Y	1	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 Tapa y soporte del cilindro del eje C	1	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 Cilindro del eje C	1	Aleación de aluminio 6061, Empak
 Eje C	1	Aleación de aluminio 6061, Empak
 Cilindro del Eje A	1	Aleación de aluminio 6061, Empak

 <p>Eje A</p>	1	Aleación de aluminio 6061, Empak
 <p>Tapa del Cilindro del Eje A</p>	1	Aleación de aluminio 6061, Empak
 <p>Sujetador del eje C</p>	1	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 <p>Soporte herramienta parte A</p>	1	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 <p>Parte B herramienta</p>	1	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304

 <p>Parte C herramienta</p>	1	Aleación de aluminio 6061, Acero inoxidable 304
 <p>Tornillo para parte B y C de la herramienta</p>	2	Acero inoxidable 303, Acero inoxidable 304

Costos Partes Standard

Eje Z

Tabla 25. Costos partes Standard eje Z

Referencia	Cantidad	Costo Unitario (Dólares)	Costo Variable (Dólares)	Costo Variable (Pesos)
MA11-20-1800mm	4	166,82	667,28	1'668.200
ARS1X5010-72 in	2	116,68	233,36	5'834.00
MSAH-20	8	42,85	342,8	857.000
S7-5	4	61,02	244,08	610.200
T22A-37	2	34,78	69,56	173.900
MLMT20-200	2	125,29	250,58	626.450
MSC-20	8	57,4	459,2	1'148.000
MPLC-20	8	11,41	91,28	228.200
ES-500	4	6,3	25,2	63.000
S12-6	2	29,84	59,68	149.200

Total		652,39	2.443,02	6'107.550
--------------	--	---------------	-----------------	------------------

Eje Y

Tabla 26. Costos partes Standard eje Y

Referencia	Cantidad	Costo Unitario (Dólares)	Costo Variable (Dólares)	Costo Variable (Pesos)
A11-12-57,44in	4	153,31	613,24	1'533.100
ARS1X5010-57,3 in	2	116,68	233,36	583.400
SAH-12	8	23,62	188,96	472.400
S7-5	4	61,02	244,08	610.200
MT22A-06	2	50,23	100,46	251.150
LMT100-75	2	137,42	274,84	687.100
S5-15S	8	65,11	520,88	1'302.200
PLC-12	8	11,26	90,08	225.200
ES-500	4	6,3	25,2	63.000
S12-6	2	29,84	59,68	149.200
Total		654,79	2.350,78	5'876.950

Eje X

Tabla 27. Costos partes Standard eje X

Referencia	Cantidad	Costo Unitario (Dólares)	Costo Variable (Dólares)	Costo Variable (Pesos)
MSAH-20	8	42,85	342,8	857.000
MLMT20-200	2	125,29	250,58	626.450
MSC-20	8	57,4	459,2	1'148.000
MPLC-20	8	11,41	91,28	228.200
S7-5	4	61,02	244,08	610.200
S12-6	2	29,84	59,68	149.200
T22A-37	2	34,78	69,56	173.900
Total		362,59	1.517,18	2'646.098

Eje C y A

Tabla 28. Costos partes Standard eje C y A

Referencia	Cantidad	Costo Unitario (Dólares)	Costo Variable (Dólares)	Costo Variable (Pesos)
MES-15	1	4,86	4,86	12.150
G3-40	1	10,36	10,36	25.900
G3-24	1	10,32	10,32	25.800
G59-36	1	16,71	16,71	41.775
G81-36	1	18,16	18,16	45.400
Total		60,41	60,41	151.025

Costos partes Propias

La cotización realizada para las partes propias en aleación de aluminio 6061, se miro que este material no es comerciable en Colombia, esto no quiere decir que las partes no puedan ser hechas en este material, ya que el material no es comerciable en este país saldría mas costoso no solo por el hecho de traerlo sino que el material una vez traído, debe hacerse unos procesos los cuales son fundición y rectificado, por lo que el costo de la piezas aumentarían considerablemente, el precio cotizado esta entre los 14 y 15 millones, por lo que es mejor optar por el acero inoxidable que es un material mas comerciable en el país y en Cali.

La cotización para la piezas en acero inoxidable 304 obviamente es menor que la del aluminio, el precio de estas partes esta entre los 8 y 9 millones aun que el costo bajo la diferencia no es mucha ya que si observamos bien hay piezas muy grandes y complejas las cuales justifican que el precio dado anteriormente sea tan alto.

Costo Partes Electrónicas

Tabla 29. Costos partes Electrónicas

Componentes	Unidades	Costo Unitario	Total
Motor/Driver DC de escobillas integrado (BLWR23MD2S)	1	\$ 168.00 420.000 (pesos)	\$ 168.00 420.000 (pesos)
Motor/Driver DC de escobillas integrado (BLWR23MD3S)	2	\$ 177.00 442.500 (pesos)	\$ 354.00 885.000 (pesos)
Motor/Driver DC de escobillas integrado (BLWR23MD3S)	2	\$183.00 457.500 (pesos)	\$366 915.000 (pesos)
Motor de pasos (PK296B2A-SG36)	2	\$ 272.00 680.000 (pesos)	\$ 544.00 1'360.000 (pesos)
Driver motores paso paso	1	\$69.95 174.875 (pesos)	\$69.95 174.875 (pesos)
Encoder Incremental	2	\$51.45 128.625 (pesos)	\$102.9 257.250 (pesos)
SISDEI	1	\$24 60.000 (pesos)	\$24 60.000 (pesos)
LCD	1	\$10 25.000 (pesos)	\$10 25.000 (pesos)
Teclado Matricial	1	\$3,2 8.000 (pesos)	\$3,2 8.000 (pesos)
Total		\$958,60 2'396.500 (pesos)	\$ 1.642,05 4'105.125 (pesos)

Costo Total de la máquina

Tabla 30. Costo total

Descripción	Costo total
1 Ingeniero Mecatronico	7'500.000 (5 meses)
Parte mecánica	29'781.623
Parte electrónica	4'105.125
Otros	213.252
Total	41'600.000

11. PROTOTIPADO

Para realizar el diseño, la aproximación de la máquina en una forma mas cercana a un modelo físico, se utilizó una clase de prototipado analítico y completo, en donde el énfasis analítico representa el producto en una forma no tangible, este tipo de método utiliza simulación en computadora, sistema de ecuaciones y modelos computacionales en 3D, y realizando la fase de un prototipado completo se ofrecen oportunidades para pruebas rigurosas, y ayudará al aprendizaje del producto sabiendo si se cumplirá con los requerimientos del usuario, se evaluará el poder de la comunicación del producto en donde se identificará si el aspecto, estilo o función son factores buenos para llamar la atención y por último la integración en la cual se analizará si la unión de los conjuntos funcionales trabaja de una forma correcta.

La Modelación de un prototipo virtual en 3D permite visualizar de un modo más real un diseño dado en su forma y estilo, se pueden calcular automáticamente propiedades físicas como volumen y peso, permite estudiar interferencias geométricas entre partes, ajustes y ensambles.

A continuación se muestran algunas imágenes (ver figuras de la 19 hasta la 28) del prototipo virtual realizado con la ayuda Solid Edge, este programa tiene grandes ventajas las cuales han ayudado a que el diseño de la máquina fuera de una manera mas fácil y rápida, sin olvidar su aspecto estético y funcional.

El prototipo hecho en Solid Edge fue basado en el sistema CRT-100 (figura 18) que es un cortador de 2 grados de libertad, a partir de esta estructura se construyeron los ejes faltantes para completar la máquina con sus 5 ejes de libertad.

Figura 18. CRT100

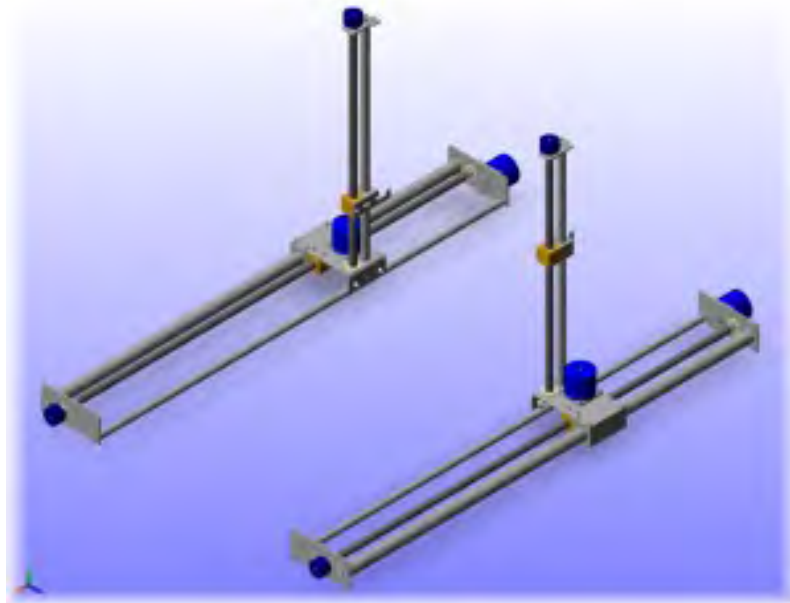


Figura 19. Máquina CNC

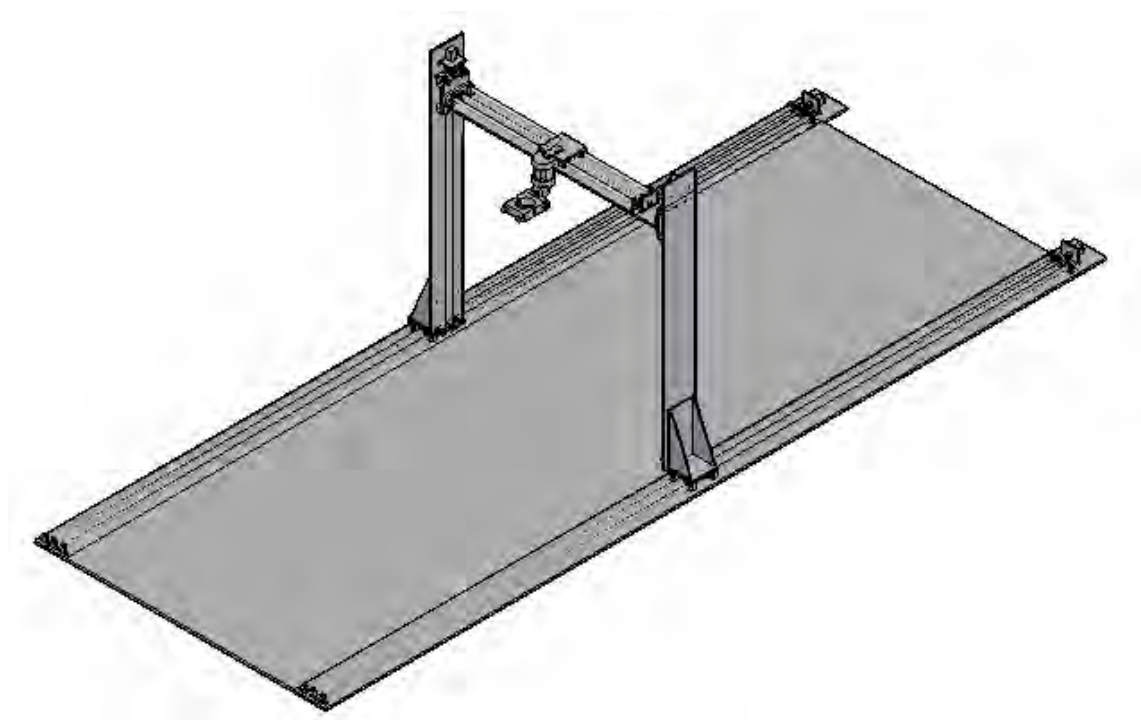


Figura 20. Vista lateral

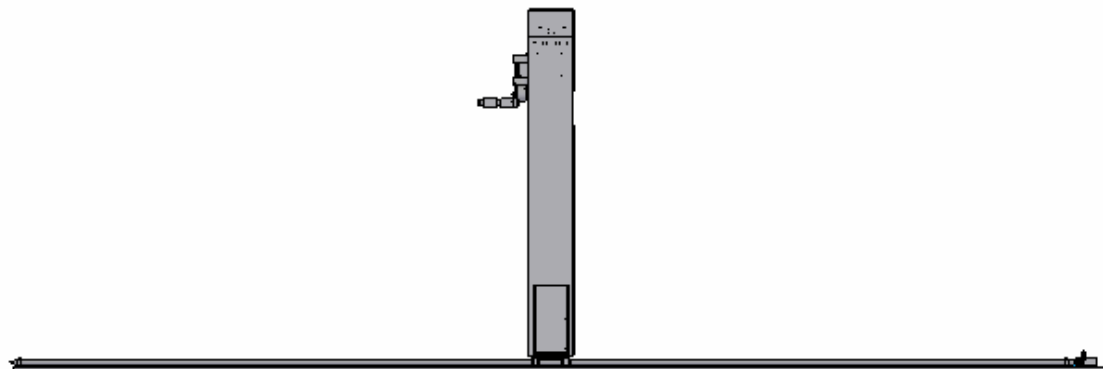


Figura 21. Vista Frontal

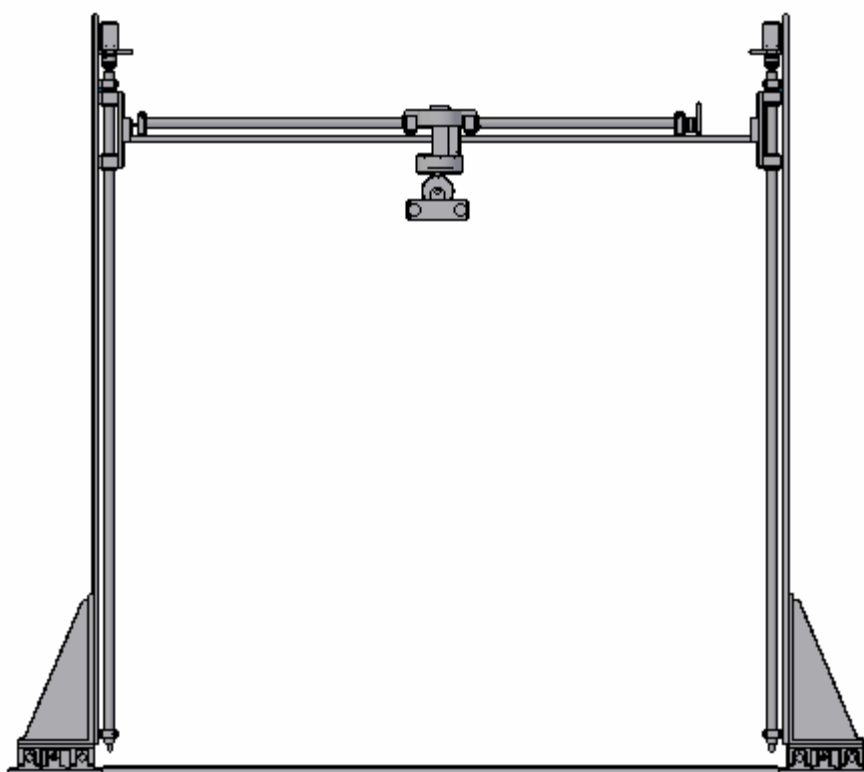


Figura 22. Vista superior

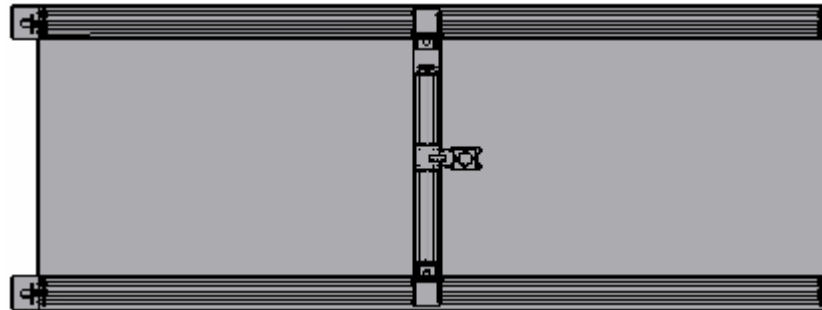


Figura 23. Imagen de Eje C y A en la máquina

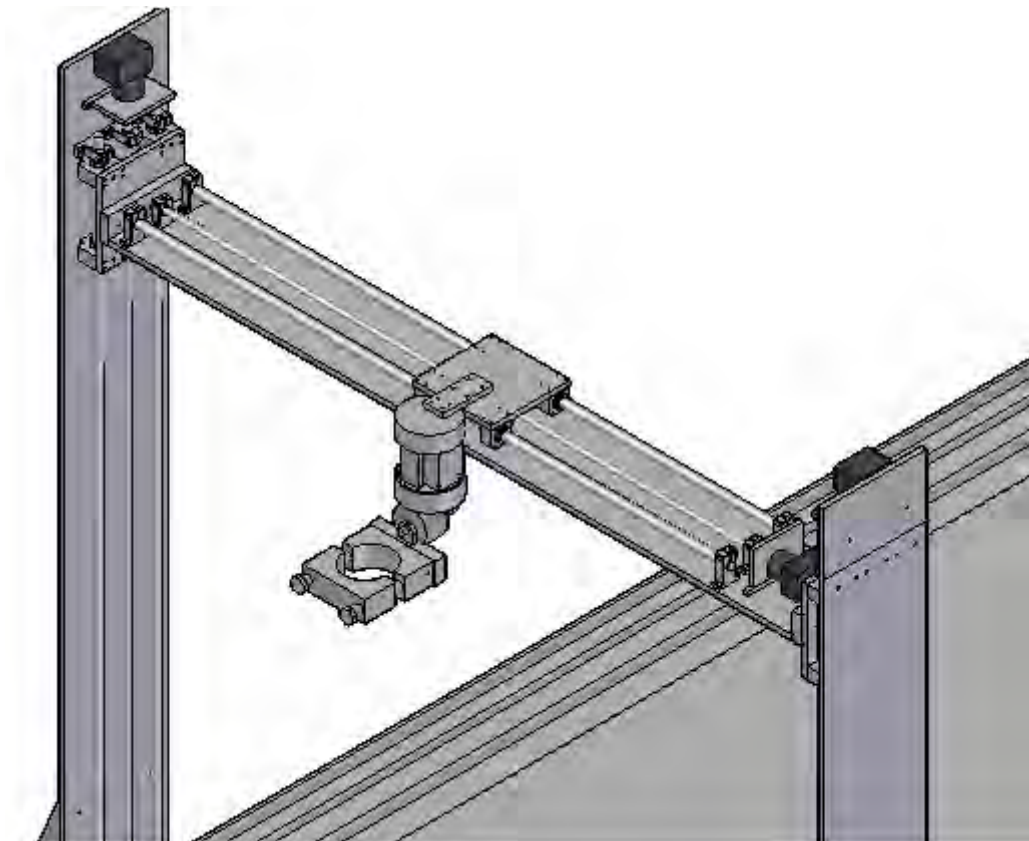


Figura 24. Eje C y A

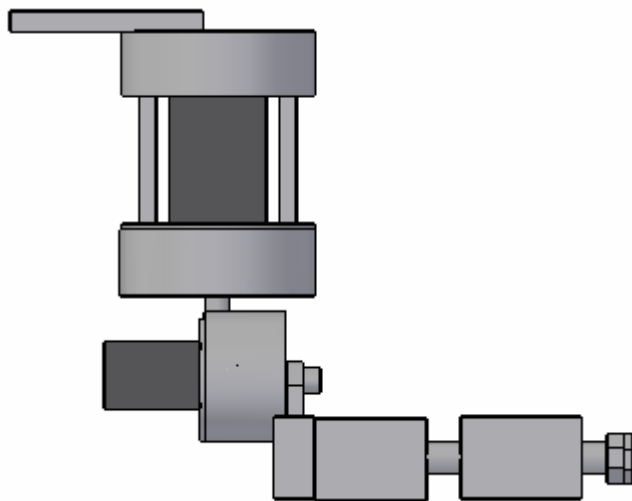


Figura 25. Isométrico de eje C y A

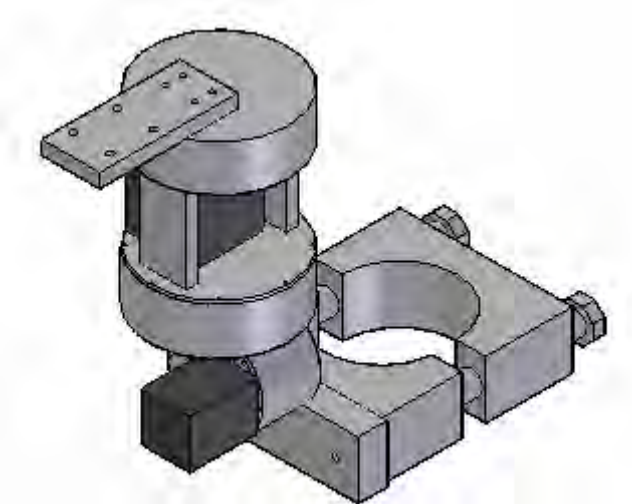


Figura 26. Base para herramienta

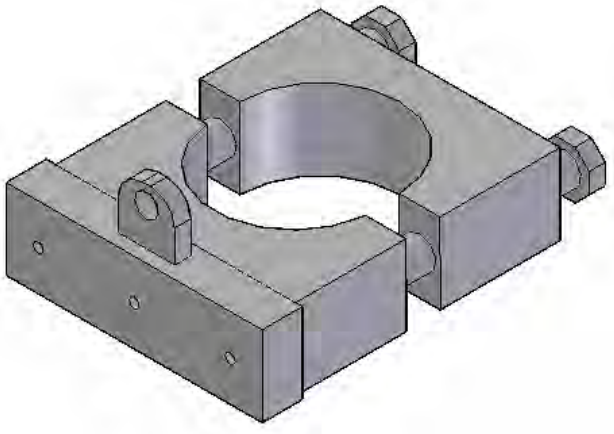


Figura 27. Eje C

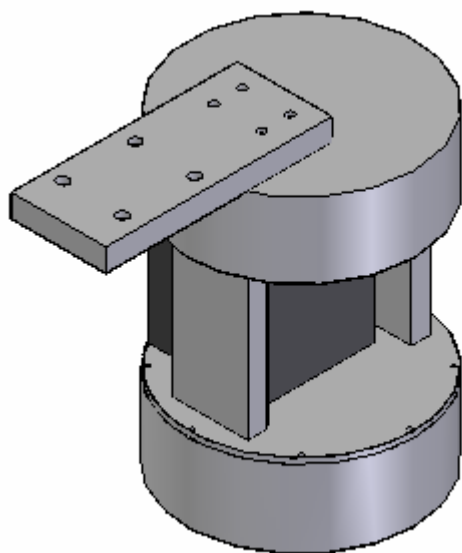


Figura 27a. Eje C

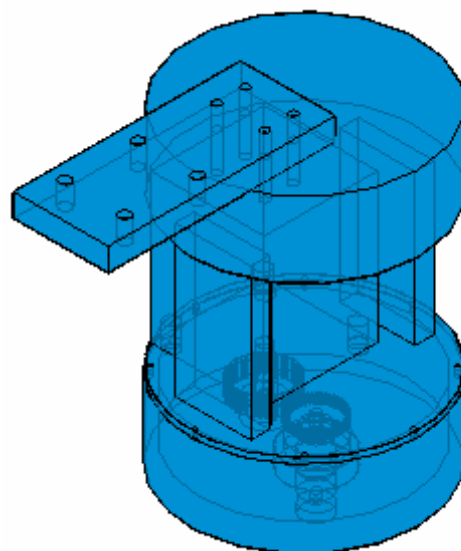


Figura 28. Eje B

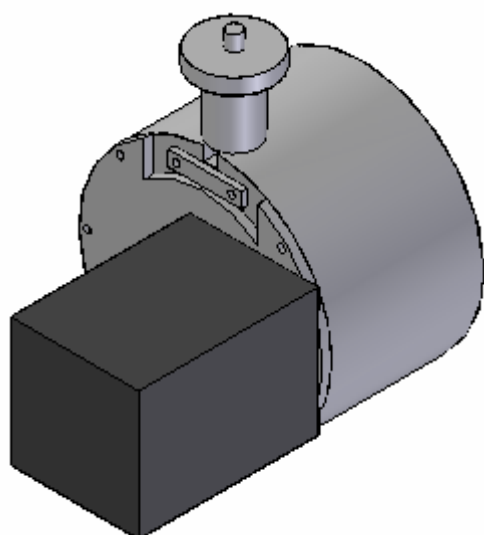
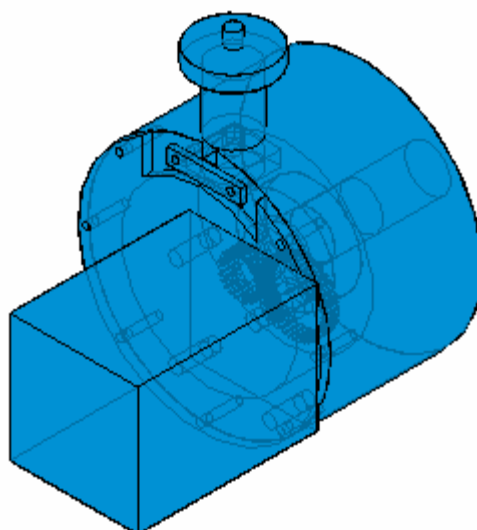


Figura 28ª. Eje B



12. INTERACCIÓN CON EL SOFTWARE MASTERCAM

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM (CAM, acrónimo de manufactura asistida por computador en inglés). La fabricación asistida por ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales de control de equipos de fabricación. Por lo general, los equipos CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costes de mano de obra; Mastercam es un poderoso CAD/CAM de aplicación que se usa para diseñar y crear partes con una completa operación de maquinado.

Generalmente los controladores de las máquinas CNC tienen diferencias, inclusive de un mismo fabricante, debido a la variedad de modelos existentes. Para entender el CNC, es necesario conocer las diferencias y similitudes que presentan los diferentes controladores así como los estándares que utilizan para su programación. Normalmente se siguen dos estándares mundiales:

ISO 6983 (Organización internacional de estandarización)

EIA RS274 (Asociación de industrias electrónicas)

Estos estándares de instrucciones de programación (código) que permiten a la máquina herramienta llevar a cabo ciertas operaciones en particular, son:

Códigos G's

Funciones de movimiento de la máquina (Movimientos rápidos, avances, avances radiales, pausas, ciclos)

Códigos M's

Funciones misceláneas que se requieren para el maquinado de piezas, pero no son de movimiento de la máquina (Arranque y paro del husillo, cambio de herramienta, refrigerante, paro de programa, etc.)

Mastercam puede convertir archivos de partes o piezas en un formato que pueda ser entendido por un controlador de máquina-herramienta, como por ejemplo en código G, un programa especial llamado post procesador lee los archivos trabajados en mastercam y escribe un apropiado código NC (control numérico).

El post procesador tiene dos componentes, un archivo ejecutable MP.DLL que viene en el mastercam y un archivo .PST que es usado por el MP.DLL para personalizar la salida del post a la máquina, lo que incluye procesos lógicos, declaraciones de formatos, definiciones de variables, sistemas de variables, etc. Este archivo MP.DLL produce salidas NC para una amplia variedad de máquinas.

Para producir el correcto código NC se requiere definir la máquina a utilizar, el control y configurar el archivo .PST.

Para definir la máquina se requiere seleccionar entre los archivos .MMD, .LMD, .RMD los cuales identifican al tipo de proceso Mill, Lathe, Router.

En la definición de control la selección del archivo .CONTROL provee información al post procesador como valores de tolerancia del máquinado, ciclos de máquinas, subprogramas y muchas otras propiedades.

El archivo .PST define el formato de declaración para generar el propio código G y M y otros comandos para la máquina.

Los códigos NC pueden ser enviados a la máquina por puerto serial en formato ASCII y Binario y también el programa mastercam guarda este archivo en .TXT (texto), se puede elegir la velocidad de envío, los bits de parada, y los bits de datos junto con el puerto a utilizar.

Debido a que la máquina diseñada trabajara como herramienta un motor tool, los códigos G y M que se identifican con el uso automático de la herramienta y el refrigerante de la maquina, no se tendrán en cuenta para la realización del programa interprete que codifica los códigos mandados por mastercam a la máquina, para mayor facilidad las coordenadas deberán ser absolutas y las medidas en milímetros, el manejo de la máquina debería basarse en los códigos mas básicos para reducir la complejidad al programa interprete, los códigos mas básicos tomados a mi criterio se muestran a continuación.

Códigos G

Tabla 31. Códigos G

1	G00	Avance rápido
2	G01	Avance lineal
3	G02	Interpolación circular a la derecha
4	G03	Interpolación circular a la izquierda
5	G17	Plano de selección XY
6	G18	Plano de selección XZ
7	G19	Plano de selección YZ
8	G90	Posición inicial o cero

La velocidad de corte será definida por el usuario

Códigos M

Tabla 32. Códigos M

1	M00	Parada de programa
2	M01	Parada de programa opcional
3	M02	Fin de programa
4	M30	Fin de programa, reset

Teniendo en cuenta que se piensa disminuir la complejidad del programa intérprete, sería suficiente para la interacción del software Mastercam con la máquina, utilizar el sistema de desarrollos y prototipos educativos e industriales con microcontroladores de la familia MCS-51 (SISDEI), proyecto desarrollado por el profesor Henry Cabra Tamayo de la universidad Autónoma de Occidente. El sistema SISDEI MCS-51 esta compuesto por dispositivos de fácil adquisición y consecución en el mercado local, con un circuito impreso pequeño y expandible que entrega al usuario todas la señales (control, líneas de I/O, etc.) necesaria (conectores laterales) para complementar cualquier diseño, en el caso que se requiera anexar memoria, puertos, etapa de potencia, etc. Tiene puerto serial con el protocolo de comunicación RS232 lo cual es perfecto para realizar la conexión entre software y máquina.

El sistema SISDEI MCS-51 contiene los siguientes elementos.

Tabla 33. Partes SISDEI

ELEMENTO	REFERENCIA	IDENTIFICACIÓN
Regulador	78L05	U1
Microcontrolador	AT89C52	U2
RAM-NVRAM-EEPROM	6264/DS1230Y/ 28C64	U3
Latch	74HC573	U4
Circuito Integrado	MAX – 232	U5
Compuerta NAND	74HC00	U6
Decodificador	74HC138	U7
Diodo	1N4007	D1
Condensador (Filtro)	100uF	C1
Condensador (Filtro)	0.33uF	C2
Condensador (Filtro)	10uF	C3, C8
Condensadores	0.1uF	C4, C5, C6, C7
Condensadores	22pF o 33pF	C9, C10
Condensadores (Tantalio)	4.7 a 10uF	C11, C12, C13, C14
Condensadores (Filtro)	1uF	C15
Pulsador Reset	RST	S1
Resistencia	100ohmios	R1
Resistencia	8.2 Kohmios	R2
Cristal	11.0592MHz	X1
Conector Fuente	Vcd	J1
Conector serie para Impreso	DB9 Hembra	J2
Conector pines sencillo	8x8 pines	J3, J4.....J9
Jumper	2 pines	JP2 (Tx), JP3 (Rx)
Jumper	3 pines	JP1
1 Base para CI	IC U2	40 pines (separados)
1 Base para CI	IC U3	28 pines (separados)
1 Base para CI	IC U4	20 pines (separados)
2 Base para CI	IC's U5 y U7	16 pines (separados)
1 Base para CI	IC U6	14 pines (separados)

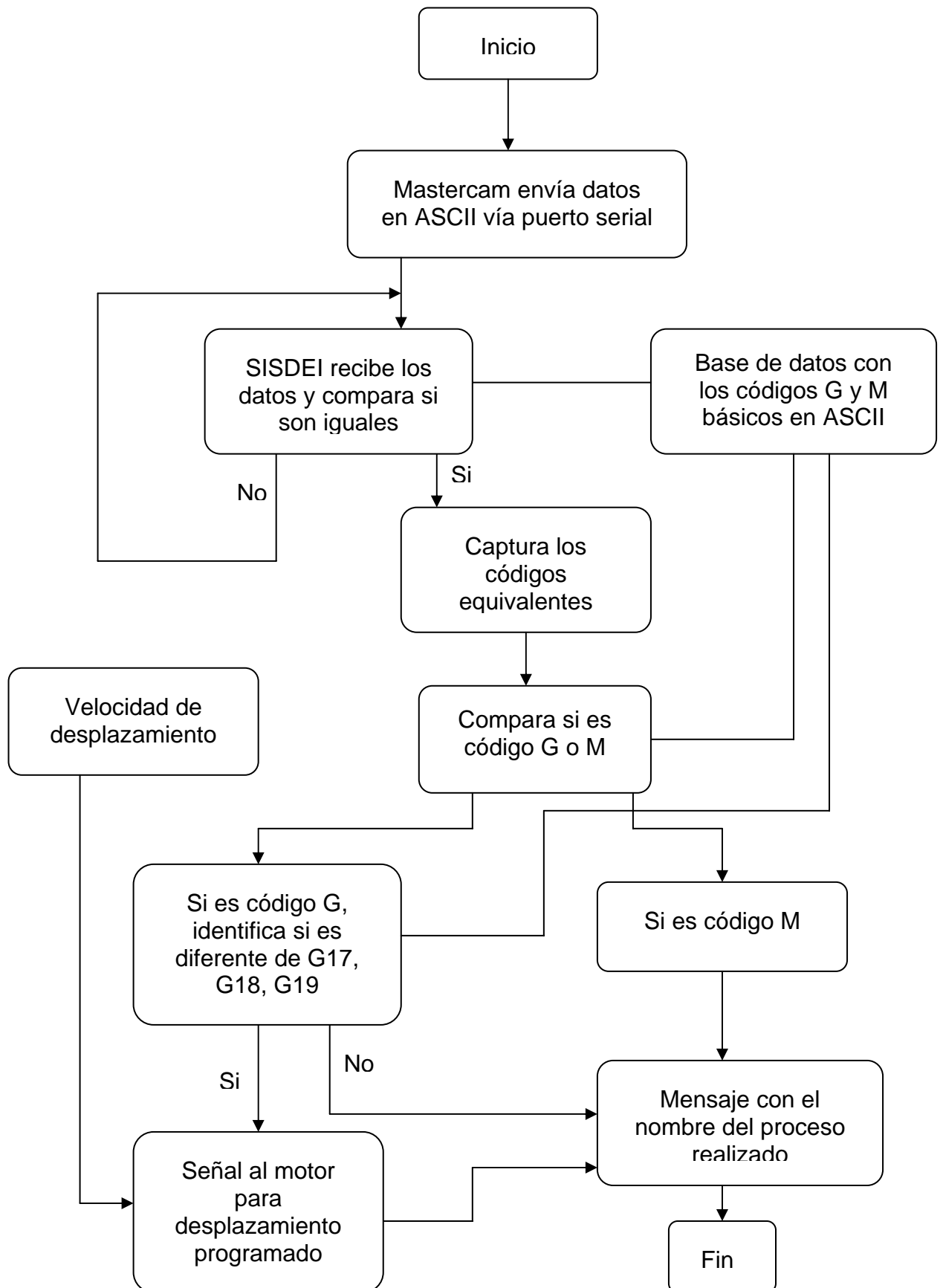
El diagrama eléctrico del sistema y demás datos de interés se encontraran en los anexos 5 y 6.

Junto con este sistema se incorporará un periférico programable que es el 82C55 este es compatible con todos los microcontroladores Intel y otros microcontroladores, el propósito de este periférico es aumentar la capacidad de puertos de entrada y salida a un microcontrolador, es de fácil uso y muy utilizado para aplicaciones donde se necesite expansión de puertos. Por lo que el sistema SISDEI con el 82C55 tiene puertos abastos para el control de los motores, los sensores, y demás dispositivos electrónicos que se necesiten.

Por ultimo se utilizara un LCD para imprimir mensajes y Teclado matricial, las especificaciones técnicas estarán al final en los anexos 7 y 8. El uso del teclado matricial será para que el usuario seleccione la velocidad que los motores tendrán para desplazar los ejes, la cual no pasará de las 3300rpm.

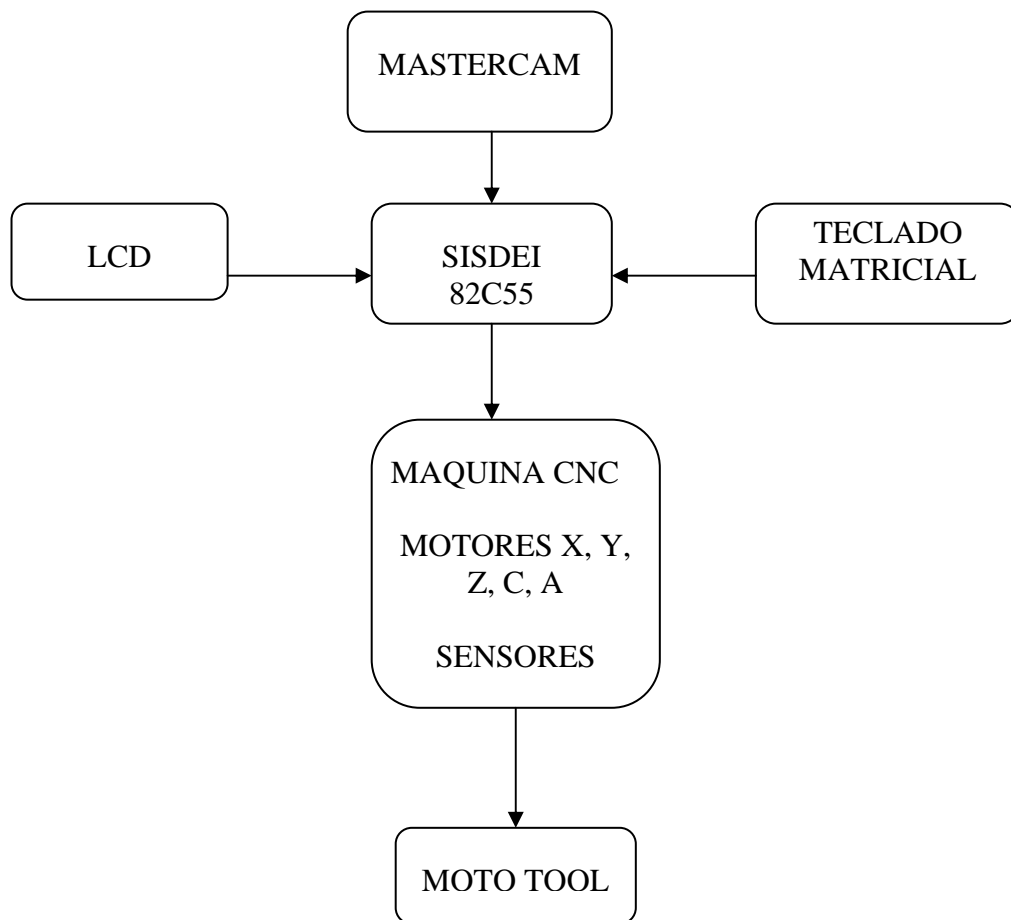
A continuación se expone el diagrama de flujo que explica el proceso de comunicación entre la máquina y el software.

12.1 DIAGRAMA DE FLUJO COMUNICACIÓN SOFTWARE- MÁQUINA



Para un mejor entendimiento de la interacción máquina – software se muestra un diagrama de bloque de como podría ser la conexión máquina- software.

12.2 DIAGRAMA DE BLOQUES



13. DISEÑO DETALLADO

13.1 DOCUMENTACIÓN MECÁNICA

La selección de los sistemas de transmisión para la máquina fueron hechos en la parte de la generación y selección de conceptos, donde se decidió que el tornillo sin fin se acoplaba mejor a las necesidades de la máquina en cuanto a requerimientos de precisión, velocidad, precio y facilidad de adquisición. La consecución de piezas para la construcción de la máquina en su gran mayoría viene de catálogos de PIC-DESIGN, la cual es un empresa distribuidora de partes mecánicas de muy buenas características, de estos catálogos y de una búsqueda bibliográfica se realizó la selección de el material de aquellas piezas que fueron diseñadas para el desarrollo de la máquina.

Los materiales seleccionados para diseñar el resto de las piezas de la máquina fueron: Aleación de aluminio 6061 y Acero Inoxidable 304, a continuación se dará una breve definición de estos materiales.

Aleación de aluminio 6061 pesa menos que 1/3 del mismo volumen de acero, debido a su elevada proporción resistencia-peso es muy útil para construir aviones, vagones ferroviarios y automóviles, y para otras aplicaciones en las que es importante la movilidad y la conservación de energía. Por su elevada conductividad térmica, el aluminio se emplea en utensilios de cocina y en pistones de motores de combustión interna. El aluminio es un metal que reúne una serie de propiedades mecánicas excelentes dentro del grupo de los metales no férricos, de ahí su elevado uso en la industria. La buena resistencia mecánica de algunas de sus aleaciones, incluso a altas temperaturas, lo que hace que esté llegando a sustituir a aleaciones de titanio en el mundo aeronáutico, donde la ligereza unido a la resistencia mecánica son factores importantísimos. Una propiedad cada vez más en alza como es la reciclabilidad donde el aluminio destaca especialmente, ya que si bien el aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre, el proceso de obtención del aluminio requiere una alta cantidad de energía en comparación con otros metales como puede ser el acero, pero esta cantidad de energía se reduce enormemente en el proceso de producción secundaria (reciclaje) para el caso del aluminio, provocando que la industria lo tenga muy en cuenta a la hora de ahorrar dinero en forma de energía.

Acero inoxidable 304 es uno de los materiales más comerciables en Colombia a diferencia del aluminio, el **acero inoxidable** es un tipo de acero resistente a la corrosión, dado que el cromo que contiene posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del

hierro. Sin embargo, esta película puede ser afectada por algunos ácidos dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas. Contiene, por definición, un mínimo de 10,5% de cromo. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes; los principales son el níquel y el molibdeno. Los aceros inoxidables se utilizan principalmente en cuatro tipos de mercados:

- Electrodomésticos: grandes electrodomésticos y pequeños aparatos para el hogar.
- Automoción: especialmente tubos de escape.
- Construcción: edificios y mobiliario urbano (fachadas y material).
- Industria: alimentación, productos químicos y petróleo.

Su resistencia a la corrosión, sus propiedades higiénicas y sus propiedades estéticas hacen del acero inoxidable un material muy atractivo para satisfacer diversos tipos de demandas, como lo es la industria médica.

El acero es en la actualidad la más importante de las aleaciones metálicas conocidas, no habiendo existido en ninguna época otro material que tanto haya contribuido al progreso de la humanidad. Se puede decir de una manera general que bajo la denominación de “acero” se agrupan todas las aleaciones de hierro forjables. La extraordinaria difusión del acero, se debe a sus notables propiedades a la existencia de numerosos yacimientos de minerales de hierro, y al desarrollo de procedimientos de fabricación relativamente simple. Ningún otro metal ni aleación posee sus notables propiedades, que lo hacen insustituible para muchas aplicaciones. Una de las propiedades más importantes de los aceros es su gran plasticidad y maleabilidad a elevada temperatura, que permite transformar su forma o dimensiones por laminado o martillado en caliente con gran facilidad. Además los aceros son dúctiles y por trabajo en frío se pueden laminar o estirar en forma de chapas, flejes, alambres o hilos de muy pequeño espesor o diámetro. Otra de las propiedades más valiosas de los aceros, es la facultad de adquirir con el temple una dureza extraordinaria.

En los anexos 1 y 2 se verán los diferentes planos con medidas de la piezas que hacen parte de la máquina, al igual que la selección de los sistemas lineales a utilizar de los catálogos de PIC-DESIGN, junto con las formulas para el sistema de carga, determinación de la deflexión de ejes y otros aspectos a tener en cuenta para la selección adecuada de las piezas.

13.2 DOCUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Para la selección de los motores de los ejes X, Y, Z, C y A se calculo cual es la fuerza que tendría que mover cada motor, teniendo en cuenta el material a utilizar para la construcción de las partes diseñadas propiamente y las Standard , por lo que se examino cada movimiento libre de la máquina para saber cual era el peso de cada eje, debido a esto se utilizaron las densidades de los materiales usados para el diseño de la máquina como lo son: aleación de aluminio 6061, acero inoxidable 304 y con la ayuda de Solid Edge se calculo cual es el peso de cada una de las partes de la máquina ya que este programa con solo darle la densidad indicada puede calcular masa, momentos de inercia, volúmenes y demás datos importantes sobre una pieza o parte de la máquina.

Las cantidades de masa a mover por cada motor son las siguientes:

Eje Y tiene que mover los ejes C y A por lo que su peso a mover es: 34,82 Kg.
Eje Z tiene que mover los ejes C, A y Y por lo que su peso a mover es: 56,92 Kg.
Eje X tiene que mover los ejes C, A, Y, y Z por lo que su peso a mover es: 84,1 Kg.
Eje C tiene que mover el eje A por lo que su peso a mover es: 17,16 Kg.
Eje A tiene que mover la herramienta, peso a mover es: 15,66 Kg.

Debido a que se utilizo el sistema 5 y 7 como método de transmisión que ofrece PIC-Design (ver anexo 2) habría que vencer la fuerza de resistencia que ofrece los cuatro rodamientos lineales de los sistemas para poder mover la carga requerida, para poder calcular esta fuerza de resistencia de los rodamientos se consulto con los catálogos de PIC-Design para tener los datos correctos (ver anexo 2) y con la ayuda de un poco de física la fuerza a vencer para cada eje sería mas o menos la siguiente:

Eje Y = 110,13N
Eje Z = 907,776 N
Eje X = 690 N
Eje C = 168,168 N
Eje A = 153,468 N

Una vez efectuado correctamente los cálculos para la selección de motores, se comenzó a buscar el motor adecuado de cada eje, donde se deberá superar los valores de potencia y torque, que son los siguientes:

Eje Y

$T = 0,0446 \text{ N.m}$ o 6,32 oz.in

$P = 15,4 \text{ w}$

Eje Z

$T = 0,368 \text{ N.m}$ o 52,13 oz.in

$P = 127 \text{ w}$

Eje X

$T = 0,279 \text{ N.m}$ o 39,52 oz.in

$P = 96,4 \text{ w}$

Eje C

$T = 10,1 \text{ N.m}$

Eje A

$T = 9,21 \text{ N.m}$

El motor a seleccionar es un motor de escobillas DC el cual proporciona potencia y velocidad suficientes para cumplir con los requerimientos planteados para los ejes X, Y, Z, (ver figura 30) y para los ejes C y A se seleccionaron los motores paso paso, los motores seleccionados fueron los siguientes:

Eje Y: Motor/Driver DC de escobillas integrado (BLWR23MD2S)

Ejes Z y X: Motor/Driver DC de escobillas integrado (BLWR23MD3S)

Ejes C y A: Motor de pasos (PK296B2A-SG36)

Los motores DC vienen con un driver integrado el cual permite que la instalación sea mas sencilla, como se ve en la figura 29 posee 7 pines de control en los cuales el pin 2 es para el cambio de dirección del motor, el pin 3 es para el control de velocidad el cual proporcionando un voltaje de 0 a 5 va de velocidad cero su velocidad máxima, el pin 4 hay un pulso de salida el cual lee la velocidad de giro del eje del motor, por lo que este pin puede ser usado como realimentación o como sensor para el control de posición, estos quizá son los pines mas importantes los demás son la entrada de voltaje y el polo a tierra .

Figura 29. Pines Motor DC

Terminal Block Pin	Description
1	+5VDC output
2	Direction
3	0-5 VDC Speed Control
4	Pulse Output
5	Ground
6	Ground
7	Input Power

Figura 30. Referencias y características de los motores

Model #	FRAME Size	Rated Voltage (V)	Rated Speed (RPM)	Rated Power (W)	Peak Torque (oz-in)	Torque Constant (oz-in/A)	Rotor Inertia (oz-in-sec ²)	Weight (lbs)	"L" Length (in)
BLWR23MD2S-36V-4000	2.30"	36	4000	50	55	9.0	0.00106	1.4	3.0
BLWR23MD3S-36V-4000	2.30"	36	4000	95	100	9.0	0.00169	2.0	3.8
BLWR23MD4S-36V-4000	2.30"	36	4000	135	145	9.0	0.00245	2.5	4.5

Este tipo de motores fue seleccionado por su buena velocidad, potencia y por que ya tenia incorporada el driver, junto con el sensor de realimentación para el control de posición, todas estas características conseguidas por aparte pueden haber resultado un poco o igual de costosas que el costo de cada motor.

Debido a que el motor provee su propio sensor, no hubo la necesidad de seleccionar sensores para los ejes X, Y, Z, pero dado el hecho de haber seleccionado otro tipo de motor los sensores a seleccionar eran cualquier tipo de Encoder absoluto que se ajuste las demandas solicitadas (Ver anexo 9).

Para el control de posición de los motores paso a paso de los ejes C y A se utilizara los encoders incrementales los cuales son sensores que convierten la rotación mecánica en pulsos electrónicos. Las señales de salida pueden ser utilizadas para determinar el sentido de rotación, medición de velocidad, recorridos y posicionamiento angular. El principio de funcionamiento de estos encoders es la exploración optoelectrónica sin contacto físico y libre de desgaste. Una aplicación ideal esta dada en robots de brazo oscilante, en donde los encoders incrementales BDG convierten el recorrido y el ángulo realizado, en señales electrónicas.

Otra ventaja de estos sensores es que son fáciles de conseguir y las resoluciones que estos tienen varían unos de otros lo que hace de esta característica un atractivo mayor para su adquisición.

A continuación se realizara una descripción funcional de los encoders incrementales funcionales y algunas aplicaciones junto con unas imágenes.

El movimiento rotatorio se procesa en el encoder incremental y es transformado en una señal eléctrica. Los incrementos angulares están registrados mediante un disco de impulsos que contiene un número específico de incrementos por revolución. La unidad de medición con la optoelectrónica integrada produce señales eléctricas, transmitiendo pulsos (incrementos de medida) los cuales son procesados por su estado. La resolución del sistema de medida está definida por el número de segmentos luz-oscuridad (numero de pulsos/revolución) en el disco. Por ejemplo, se produce una secuencia de 1000 pulsos de salida cuando un encoder de 1000 pulsos de resolución realiza una revolución. Para el sistema de control, se dispone de una segunda señal desfasada 90° con la que se evalúa la dirección de giro. El contador de un sistema de control externo se puede reiniciar mediante una señal adicional de pulso cero, con lo que se define un punto de referencia en un sistema de control mecánico.

El principio de medida fotoeléctrico permite un alto nivel de exactitud de medida obteniendo soluciones económicas a una automatización general, una adaptación constructiva y uso en aplicaciones variadas. Ejemplos típicos de aplicaciones de encoders incrementales:

- manipuladores
- instalaciones de producción flexible
- maquinaria de construcción
- máquinas de procesamiento de madera
- industria de impresión
- instalaciones de ensamblado
- tecnología de embalaje
- máquinas de alineación
- maquinaria de torsión
- prensas
- instalaciones de pintura
- etc.

En las figuras 31, 32, 33 y 34 se mostraran los diferentes tipos de encoders incrementales industriales utilizados para las diferentes aplicaciones nombradas anteriormente.

Figura 31. Encoder Incremental A



Figura 32. Encoder Incremental B



Figura 33. Encoder Incremental C



Figura 34. Encoder Incremental D



Para observar que tipo de encoder incremental puede ser el adecuado para la maquina hay que ver el anexo 4

Como el motor de pasos seleccionado es unipolar suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno (ver figura 35). Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar. Las entradas de activación pueden ser directamente activadas por un microcontrolador.

Figura 35. Conexión interna motor pasos

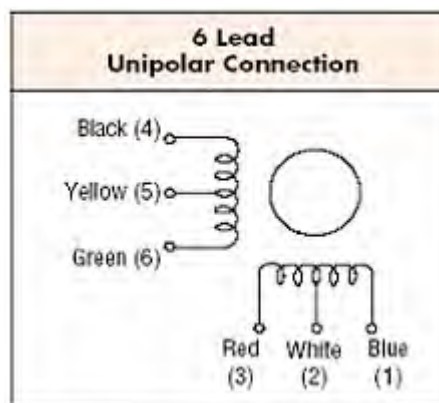
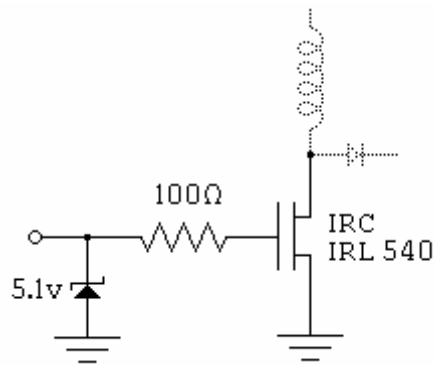
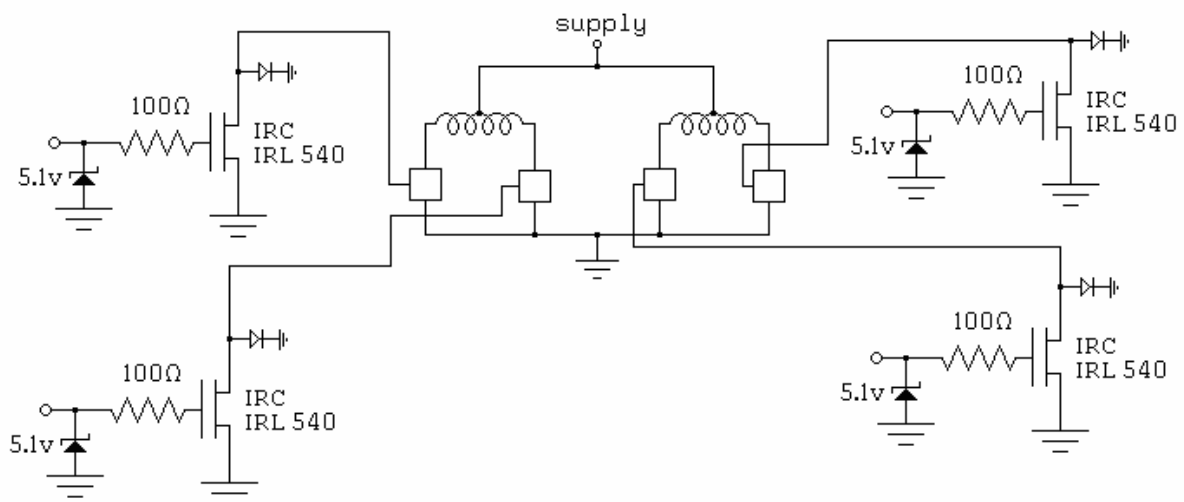


Figura 36. Driver motor paso paso



El IRC o IRL 540 (ver figura 336) es un transistor de efecto de campo de potencia que soporta corrientes de hasta 20 amperios y voltajes de hasta 100V, este transistor tiene una alta velocidad de suicheo, el uso del diodo es esencial para la protección del transistor contra la corriente de reversa bias, en caso de que el transistor falle la resistencia de 100ohm y el diodo zener protegen el circuito TTL, la resistencia de 100ohm es también para hacer mas lento el suicheo del transistor para que el motor alcance a leer la orden dada. Un a imagen de como seria la implementación del driver se ve en la figura 37:

Figura 37. Driver completo motor paso paso



Las secuencias que el microcontrolador debe realizar para que el motor de pasos unipolar gire en sentido o en contra de las manecillas del reloj son las siguientes:

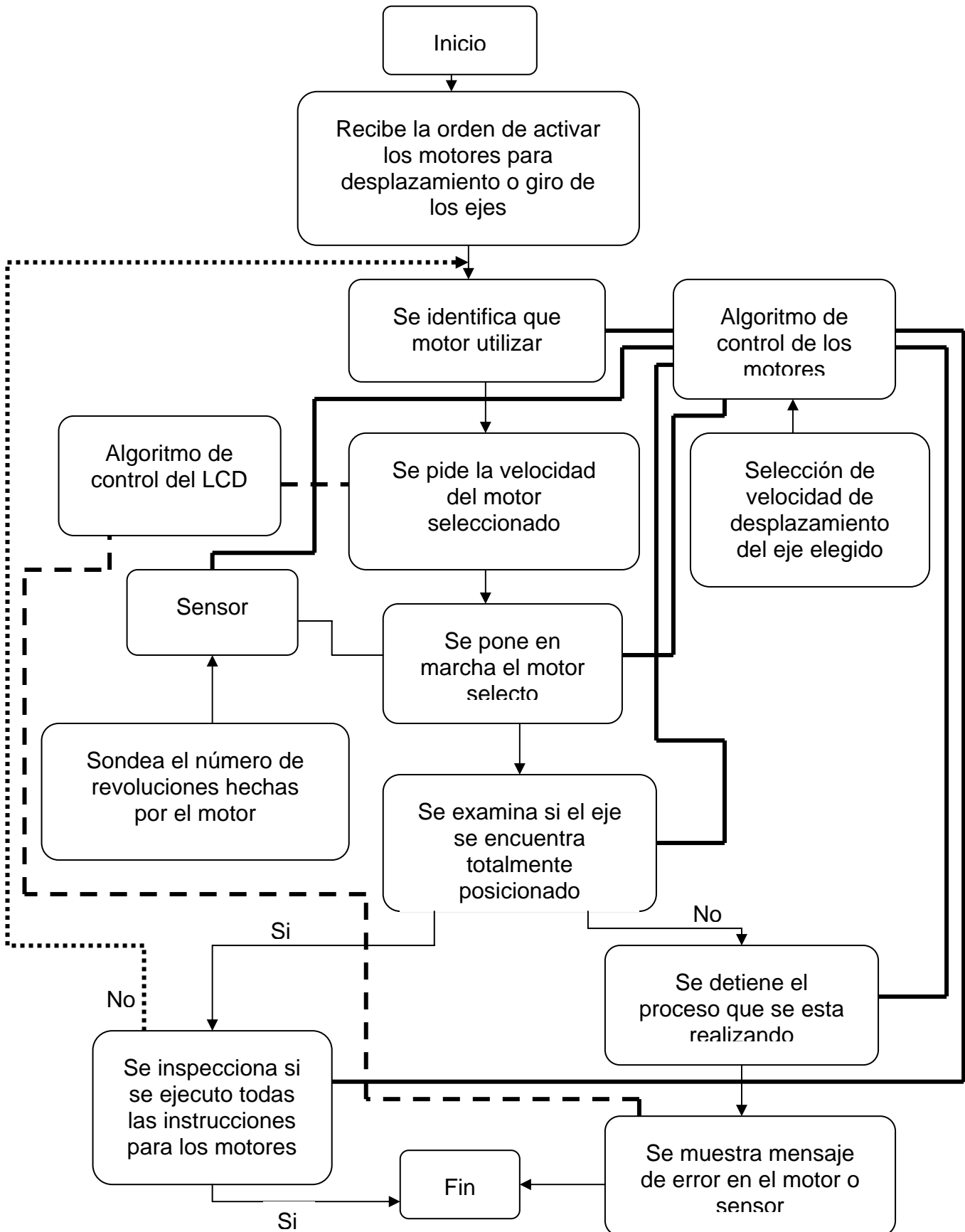
Tabla 34. Secuencia motor paso paso

A	B	C	D
1	1	0	0
0	1	1	0
0	0	1	1
1	0	0	1

Este tipo de secuencia tiene como característica su alto torque ya que energiza las dos fases al mismo tiempo, hay una buena relación entre torque y velocidad. Al operar esta secuencia el motor se mueve en sentido de las manecillas del reloj y para girar en contra solo hay que utilizar al revés.

13.3 DIAGRAMAS DE FLUJO

Sistema de control de los motores



14. CONCLUSIONES

- Las máquinas CNC son muy útiles para aquellas tareas que requieren realizar prototipos en 3D, 2D, ya que tienen la capacidad de modelar piezas con una complejidad tan alta que el ejercicio humano no puede, esta máquina supera las imperfecciones humanas y realiza las partes diseñadas de una manera casi perfecta.
- La automatización de la máquina herramienta logra beneficios muy altos en cuanto a los costos de maquinado de piezas puesto que estas poseen todos los diferentes tipos de maquinado en una sola máquina, disminuye tiempos de producción, lo que produce una reducción de costos en materiales, mano de obra y maquinaria.
- Quizás la parte mas importante de un CNC es su controlador, el cual recibe las ordenes del software CAD/CAM y las transmite a los motores, el costo de los controladores se basa en cuan rápido puede dar las ordenes a los motores y que numero de ejes puede mover simultáneamente.
- Se ha visto que hoy en día que el software CAD/CAM da muchas ventajas al convertir directamente el diseño de sus piezas a lenguaje NC para que cualquier máquina herramienta se conecte fácilmente con el, ejemplo MASTERCAM, observando esto se puede llegar a la conclusión de que el diseño de una máquina CNC resultaría mas fácil y menos costosa si se construye solo para aquellos trabajos que sean necesarios y desarrollar un interprete básico para tipo de CAD/CAM utilizado para la conexión de la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

CNC router applications [en línea]. southern California: K2 Devices, 15 de Junio de 2006. [Consultado en Julio de 2006]. Disponible en: www.k2cnc.com

Cortadores [en línea]. Madrid: sistemas de control numérico de corte CENECE, 10 de Febrero de 2007. [Consultado en Julio de 2006]. Disponible en: www.cenece.com

5 Axis CNC Router Moving Table Style [en línea]. Cuyahoga Falls. Ohio: 5 Axis CNC Router, 3 axis router and used routers too, 20 de Abril de 2006. [Consultado en Julio de 2006]. Disponible en: www.5axiscncrouter.com

5 axis CNC routers [en línea]. Caledonia: CNC auto-motion, your source for cnc machinery, 1 de febrero de 2007. [Consultado en Julio de 2006]. Disponible en: www.cncmotion.com

MADISON, James. CNC Machining Handbook: Basic, theory, production data, and machining producers. New York: Industrial Press, 1996. 380 p.

Machina Shop [en línea]. South Broadway Santa Ana: All American Racers, 23 de Julio de 2006. [Consultado en Julio de 2006]. Disponible en: www.allamericanracers.com

NORTON, Robert L. Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. México: McGraw-Hill, 2005. 794 p.

Precision Tooling from 3-D CNC [en línea]. Hutchinson, Minnesota: 3-D CNC, 2004. [Consultado en Julio de 2006]. Disponible en: www.3dcnc.com

SUCHEN, Jonathan. Mastercam: version 8 mill. Michigan: Scholars International, 2001. 1013 p.

SHIGLEY, Joseph Edward. Teoría de las máquinas y mecanismos. México: McGraw-Hill, 1990. 613 p.

SPOTTS, M. F. Elementos de diseño de maquinas. México: Prentice-Hall, 1999. 690 p.

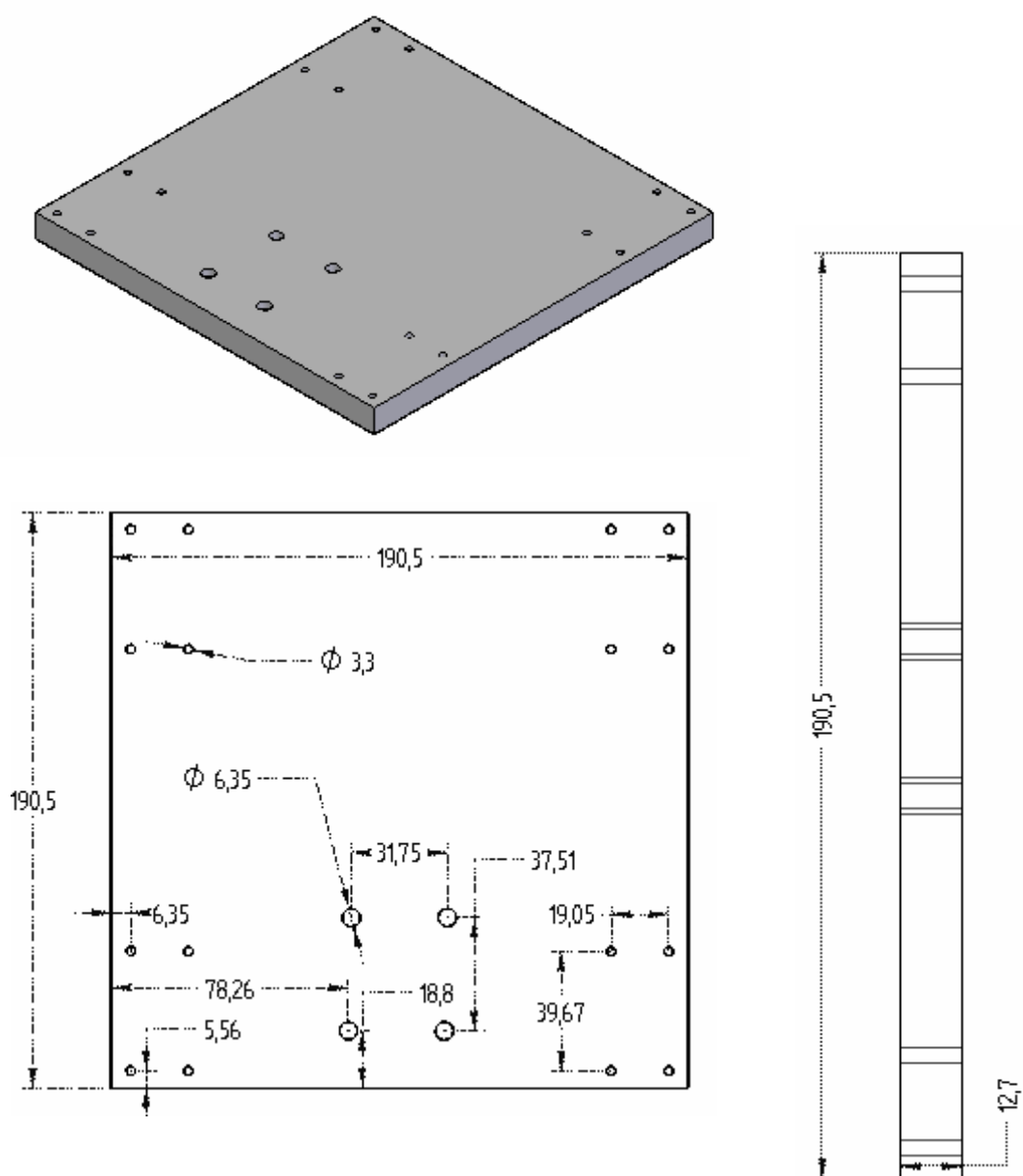
ANEXOS

Anexo 1. Planos de las piezas de la máquina

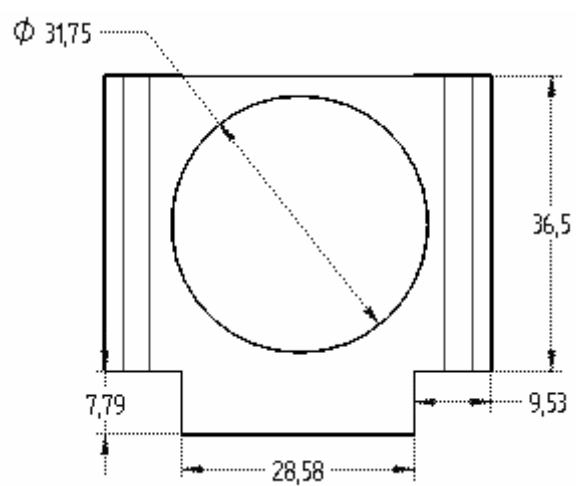
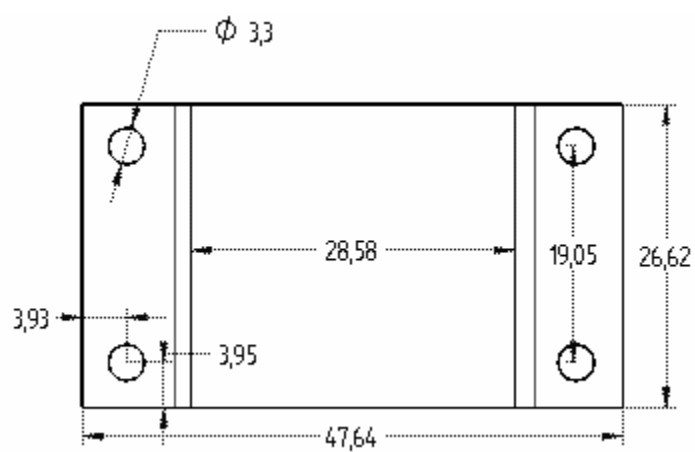
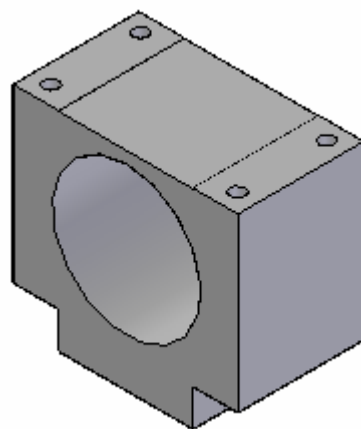
A continuación se mostrarán los planos de las piezas utilizadas para el ensamble de la máquina en donde las medidas de las piezas están todas en milímetros.

Partes Standard

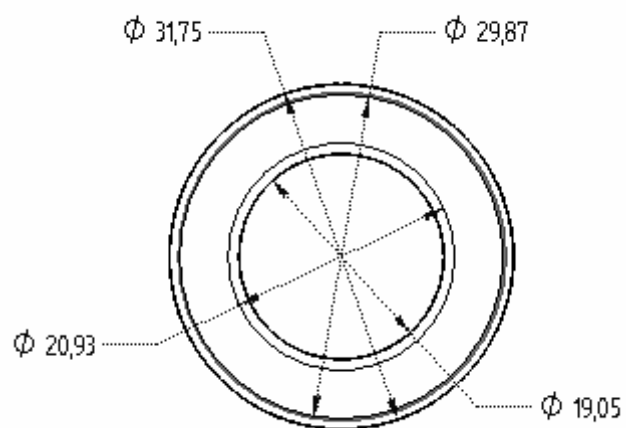
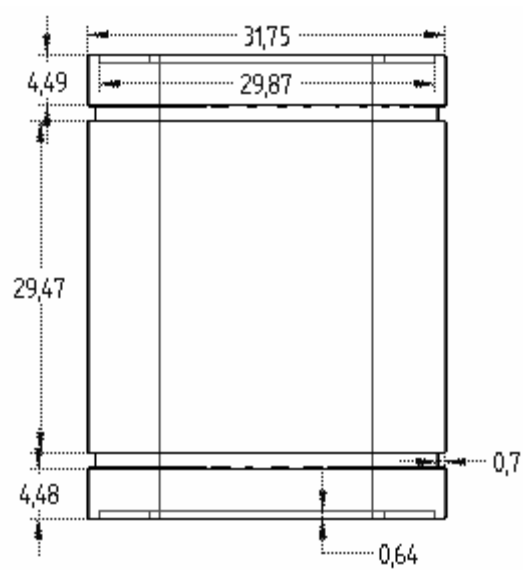
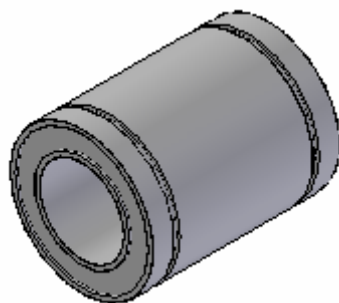
Base del posicionador eje Y



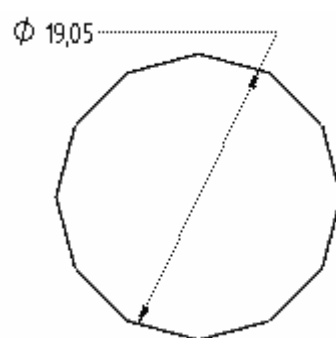
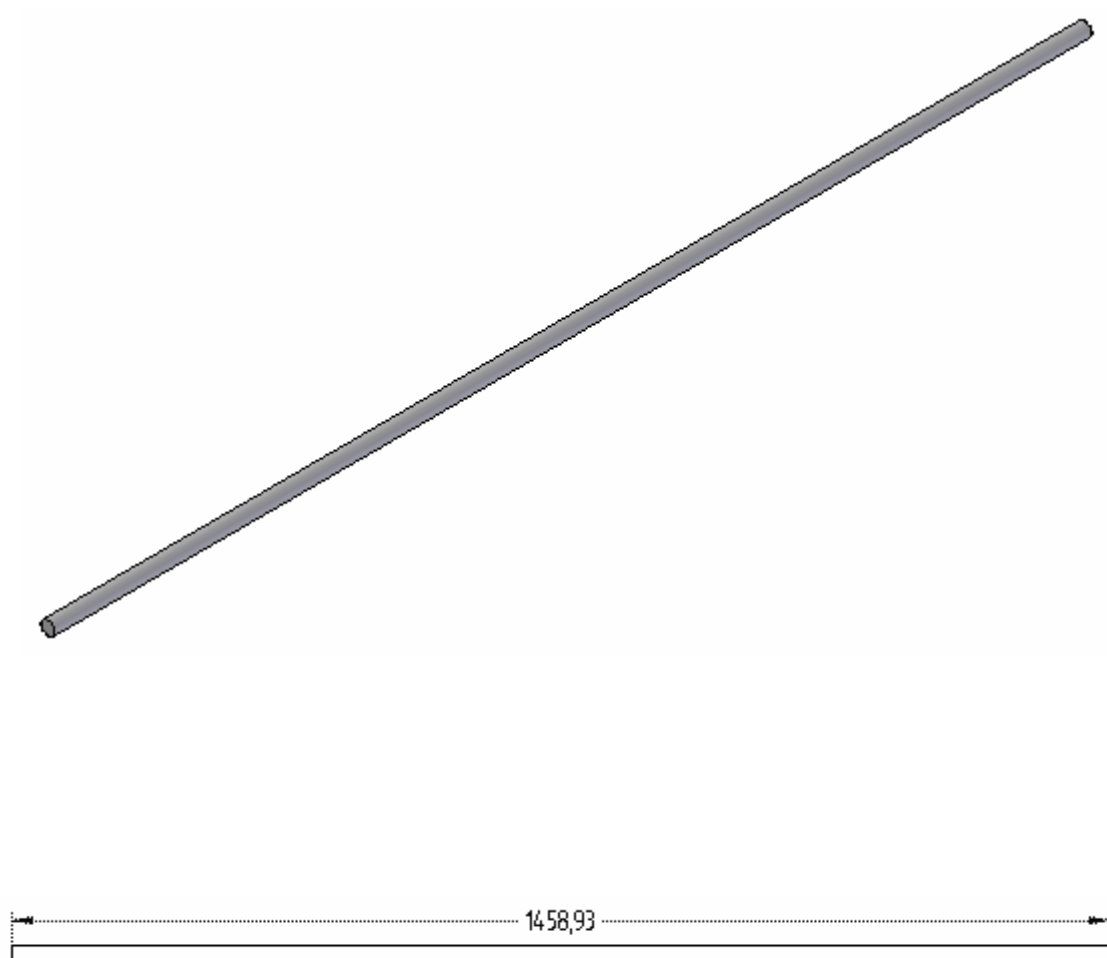
Soporte del posicionador eje Y



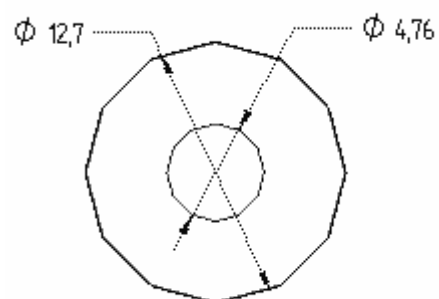
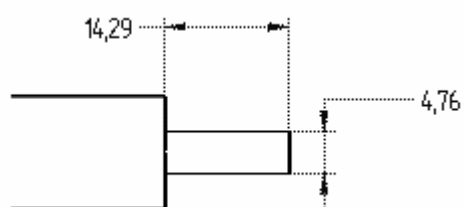
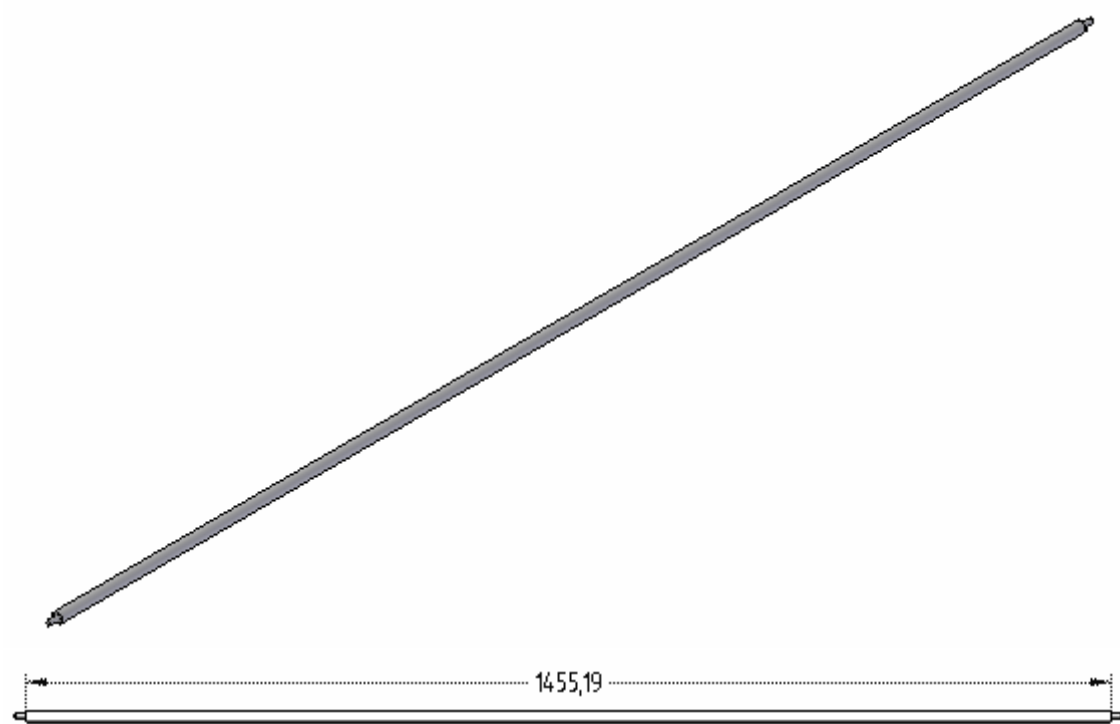
Rodamiento lineal para posicionador eje Y



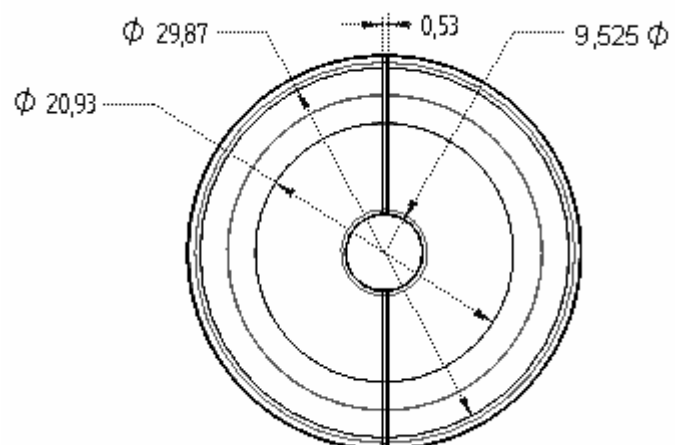
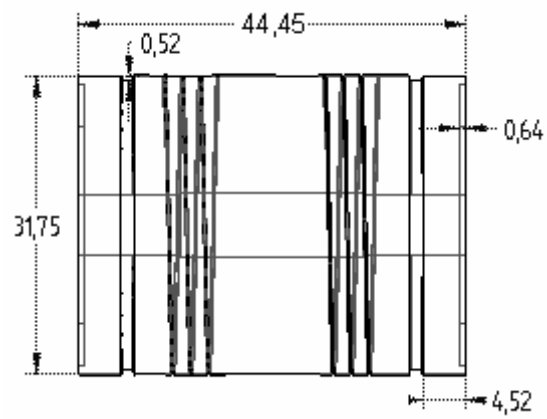
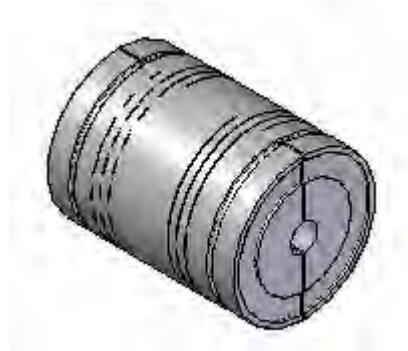
Flecha del Eje Y



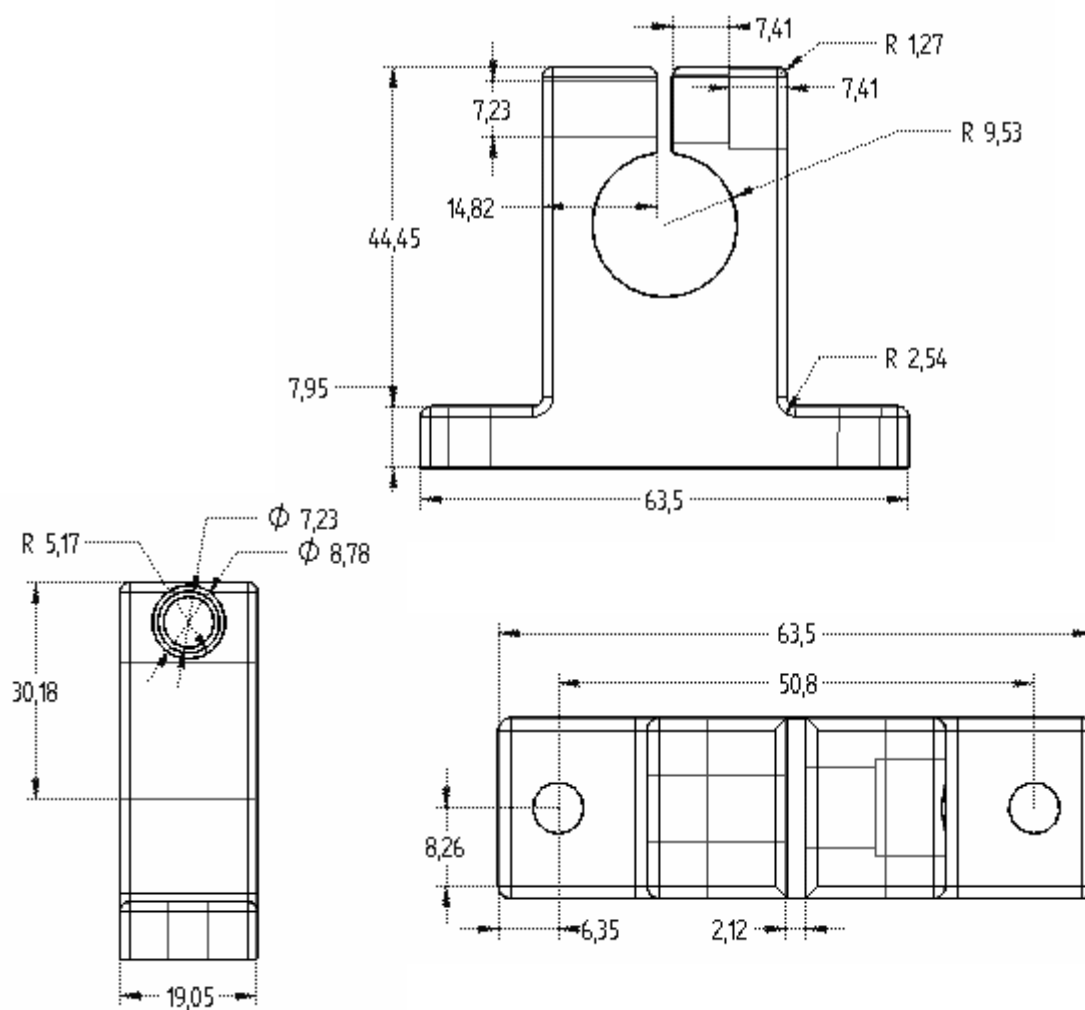
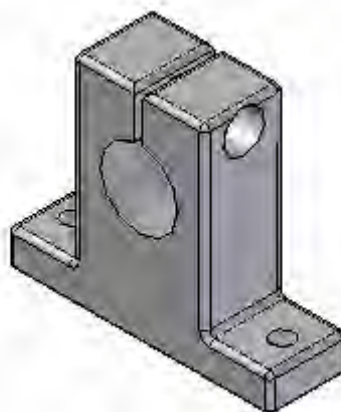
Tornillo sin fin Y
Diámetro menor: 9,652 Paso = 2,54



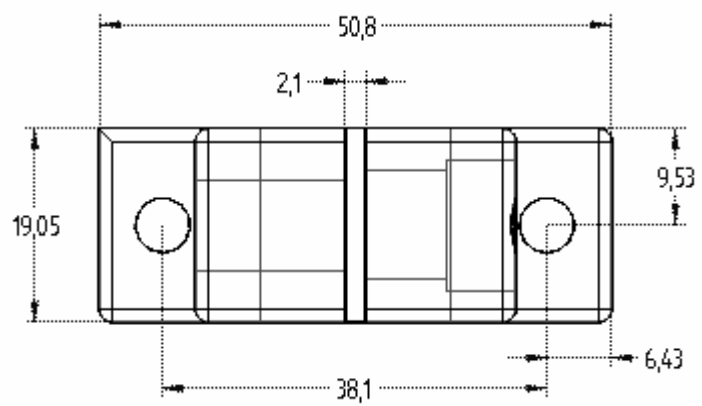
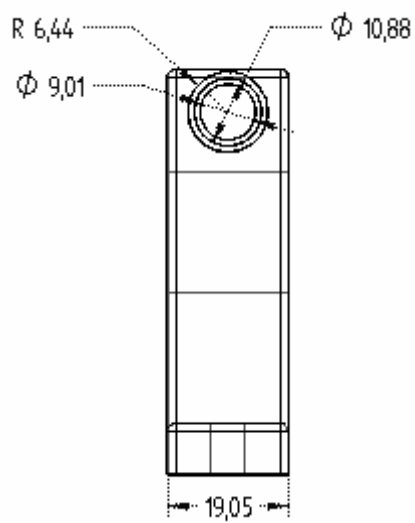
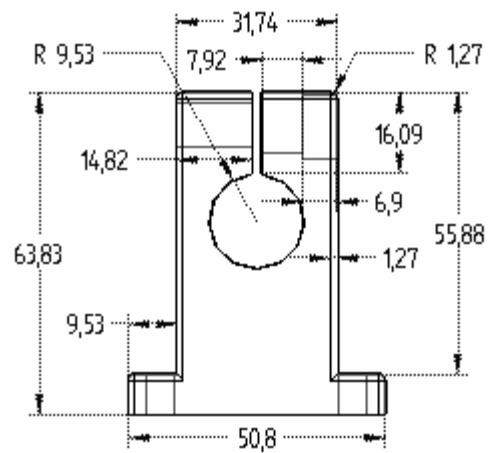
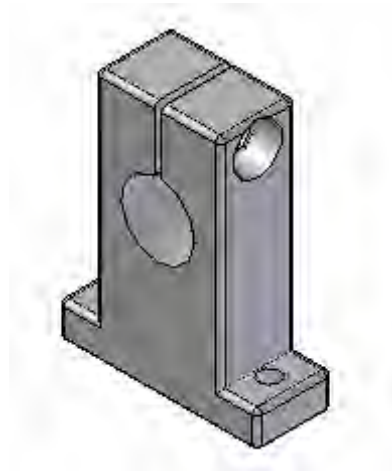
Acople para motor y tornillo sin fin
Usado en los ejes Y, X y Z



Soporte para tornillo sin fin
Usado en los ejes Y, X y Z

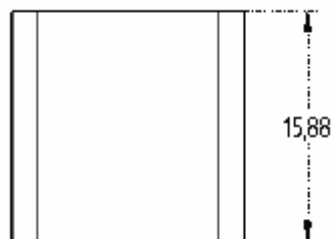
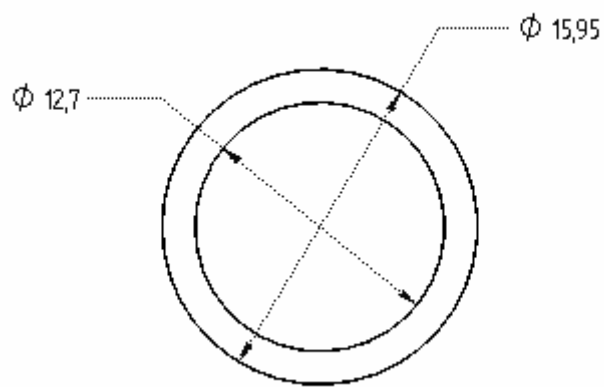
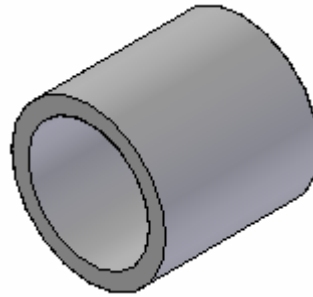


Soporte para eje Y

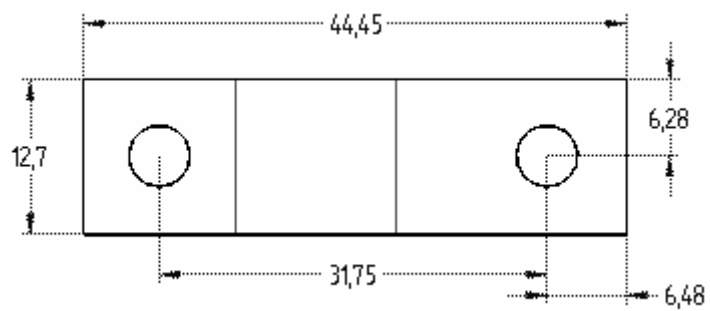
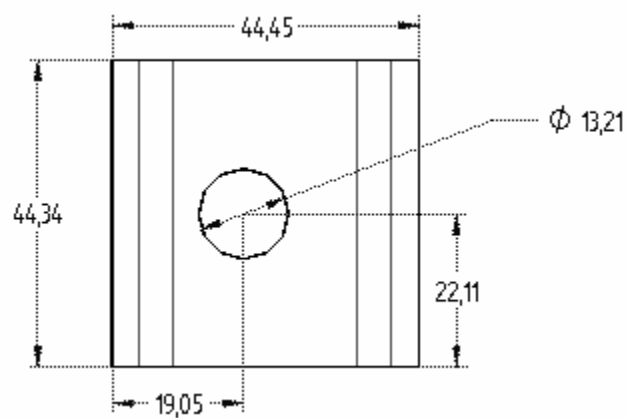
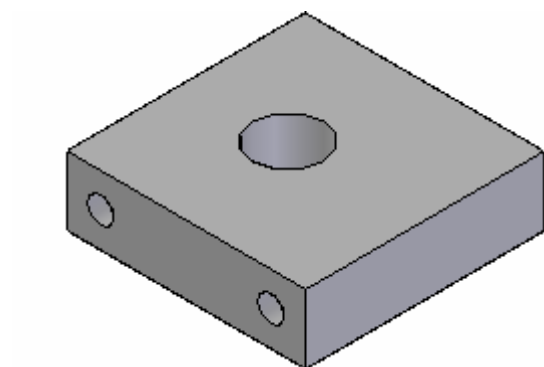


Rodamiento de rotación para tornillo sin fin

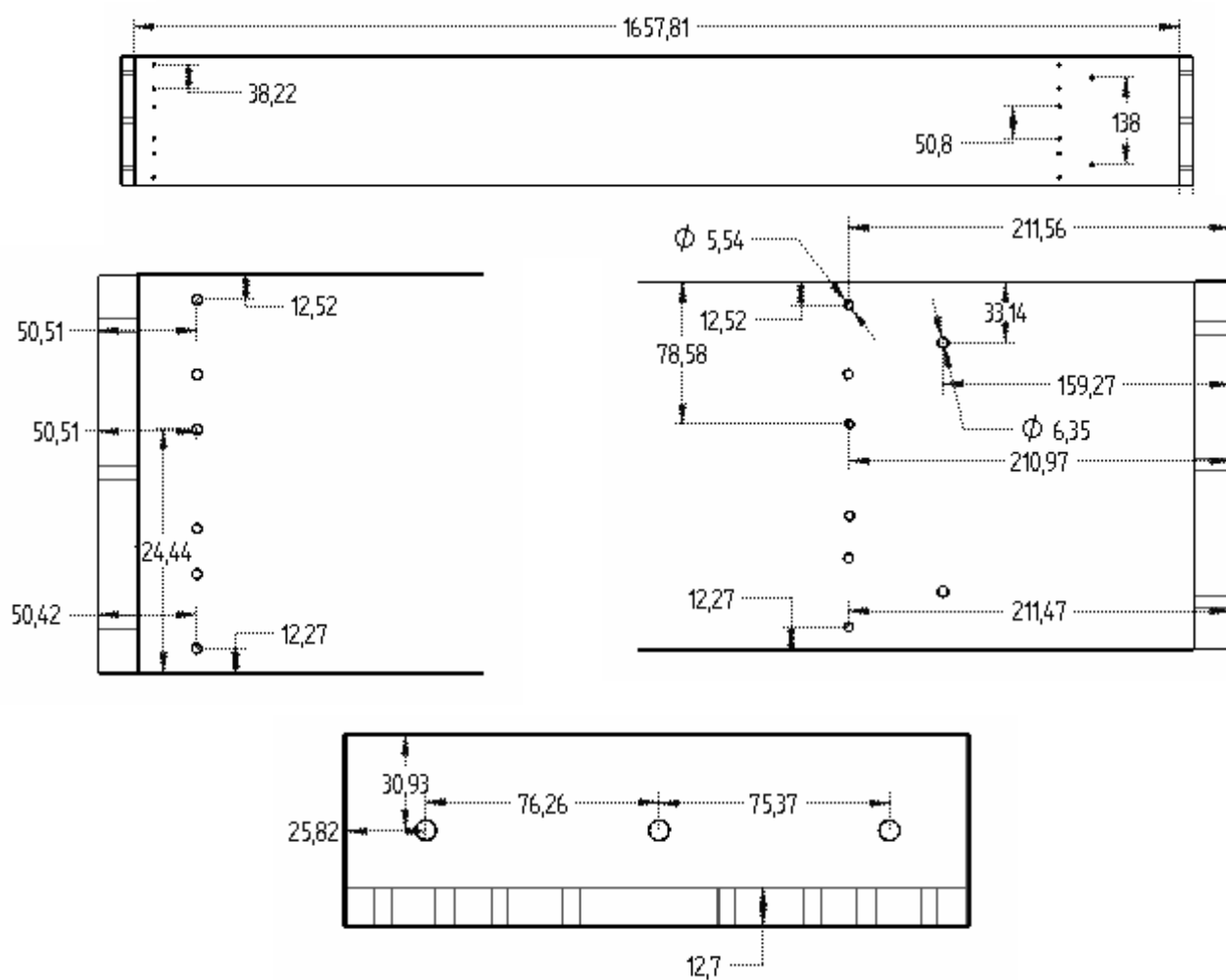
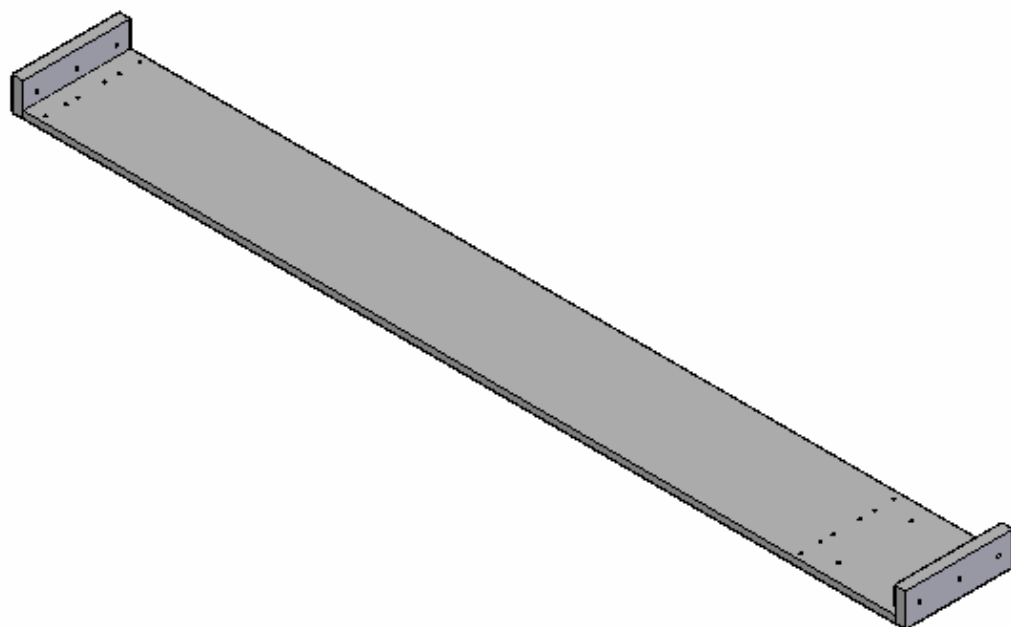
Usado en los ejes Y, X y Z



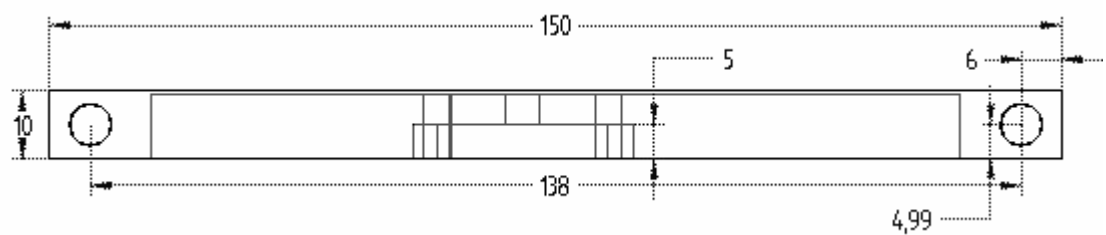
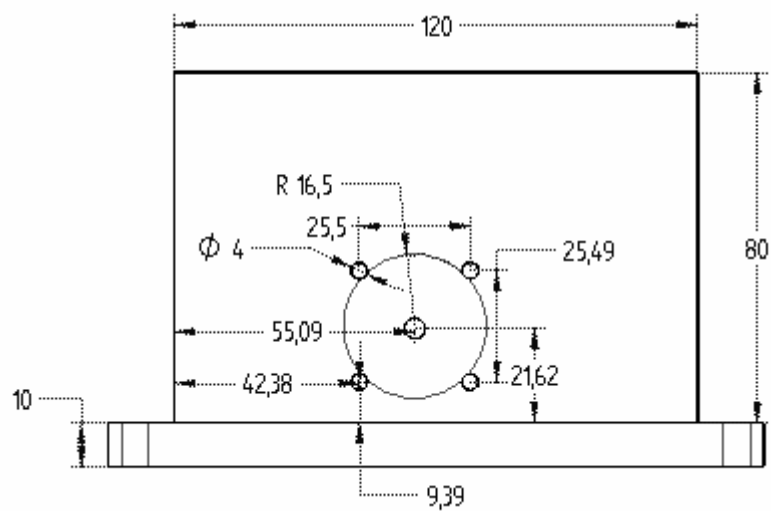
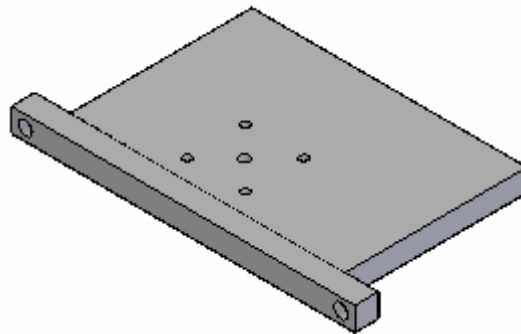
Tuerca para tornillo sin fin
Usado en los ejes Y, X y Z



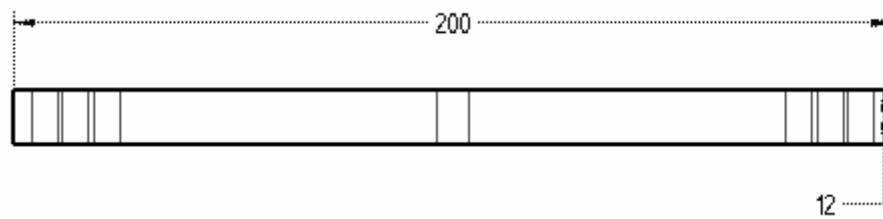
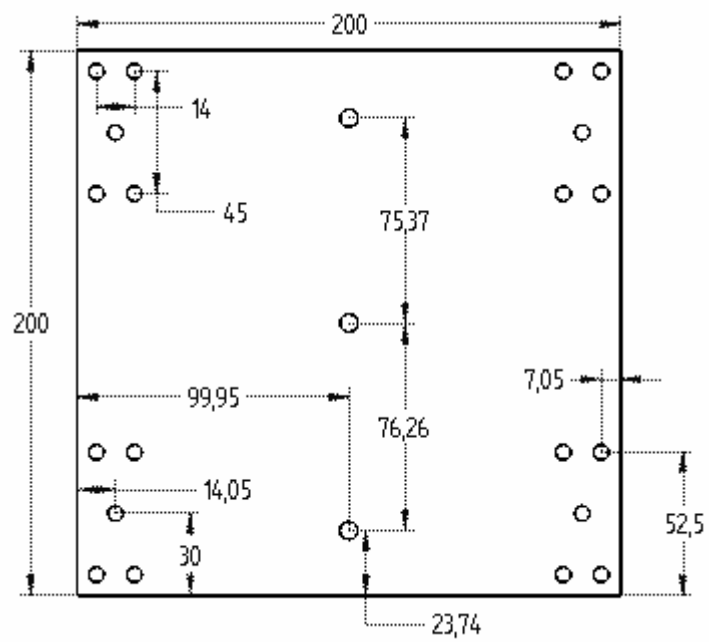
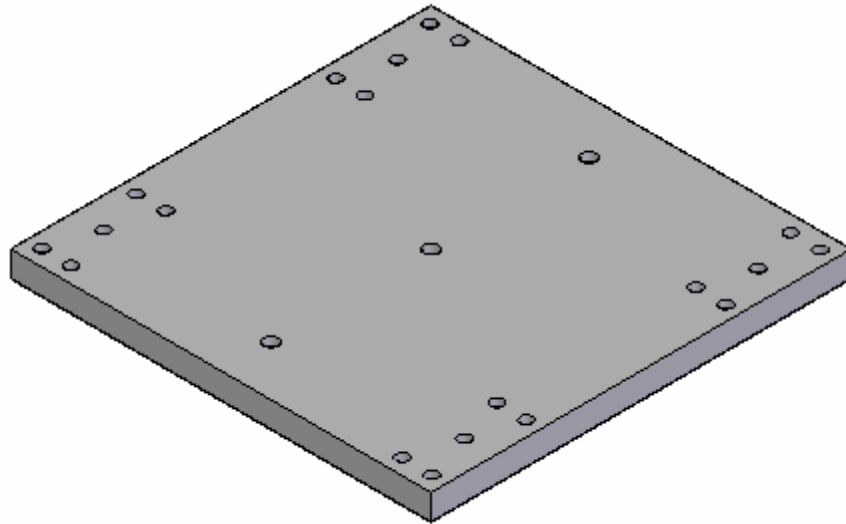
Partes Propias
Base para eje Y



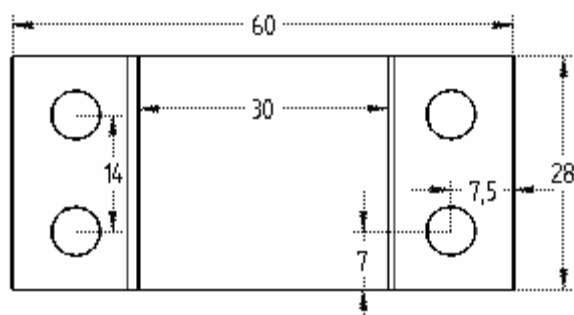
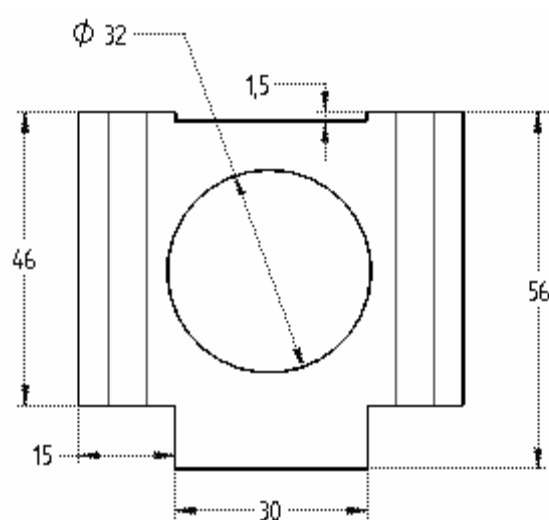
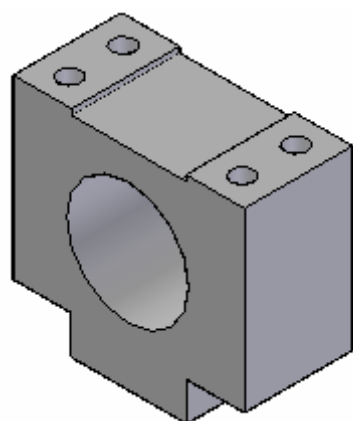
Base para motor
Usado en los ejes Y, X y Z



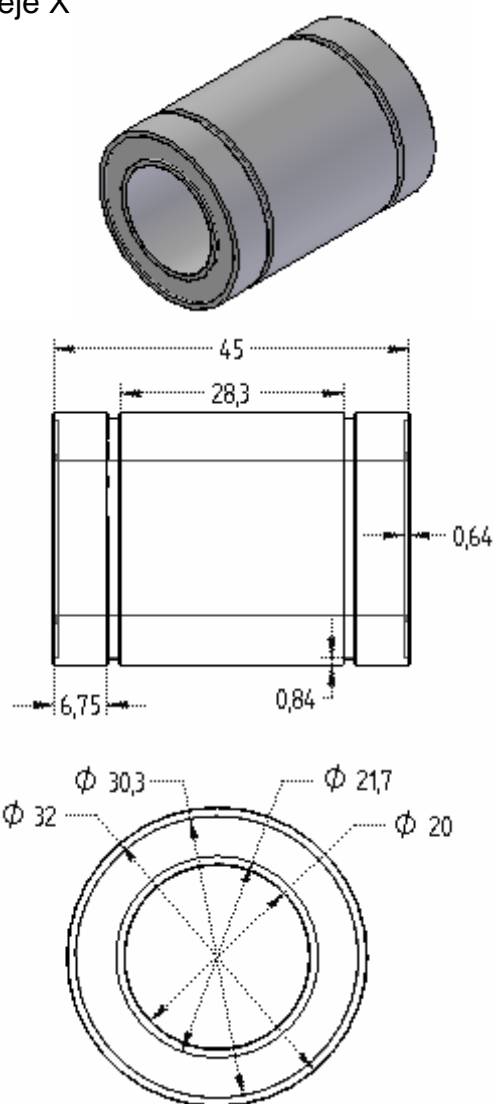
Base para el posicionador del eje Z
También usado en el eje X



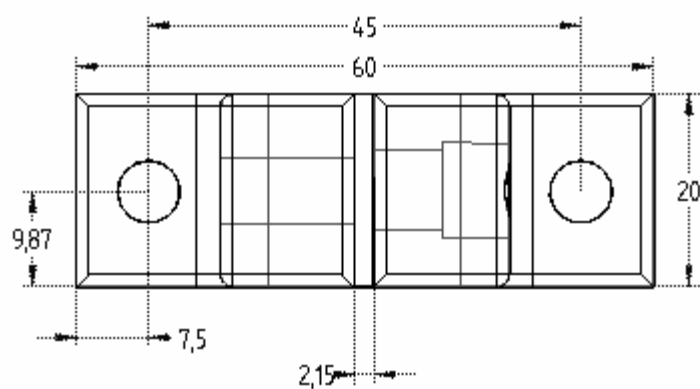
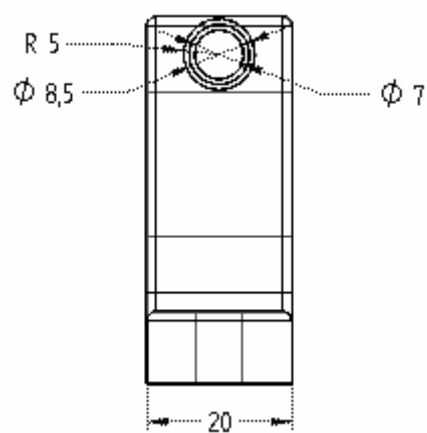
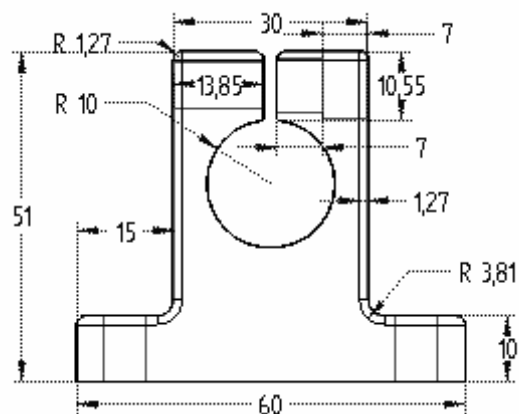
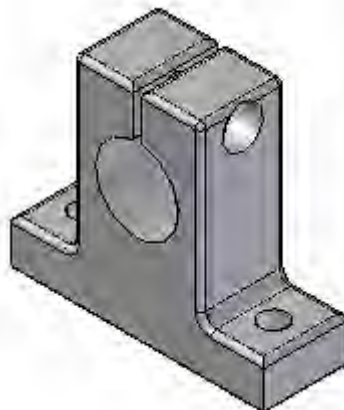
Soporte para el posicionador del eje Z
También usado en el eje X



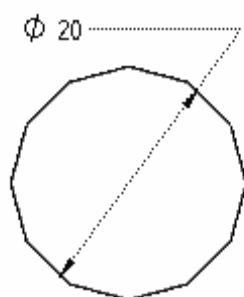
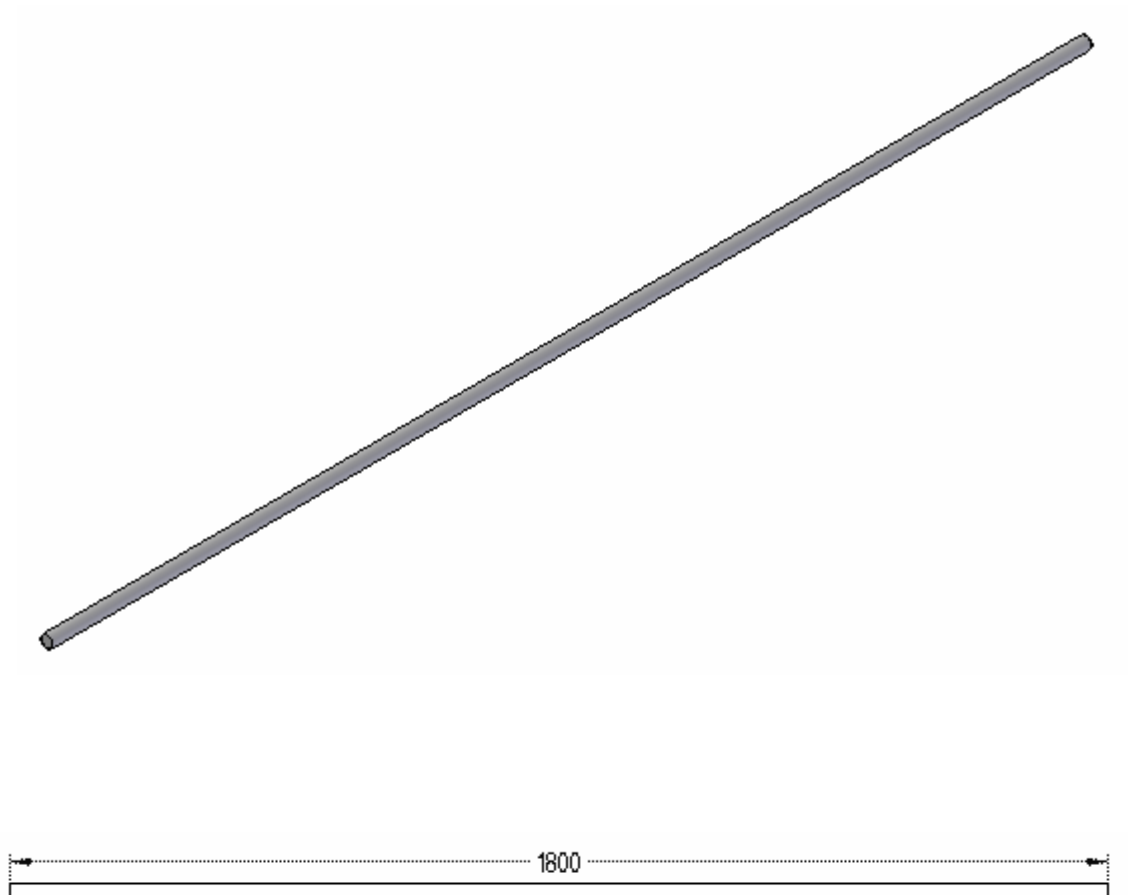
Rodamiento lineal para posicionador eje Z
También usado en el eje X



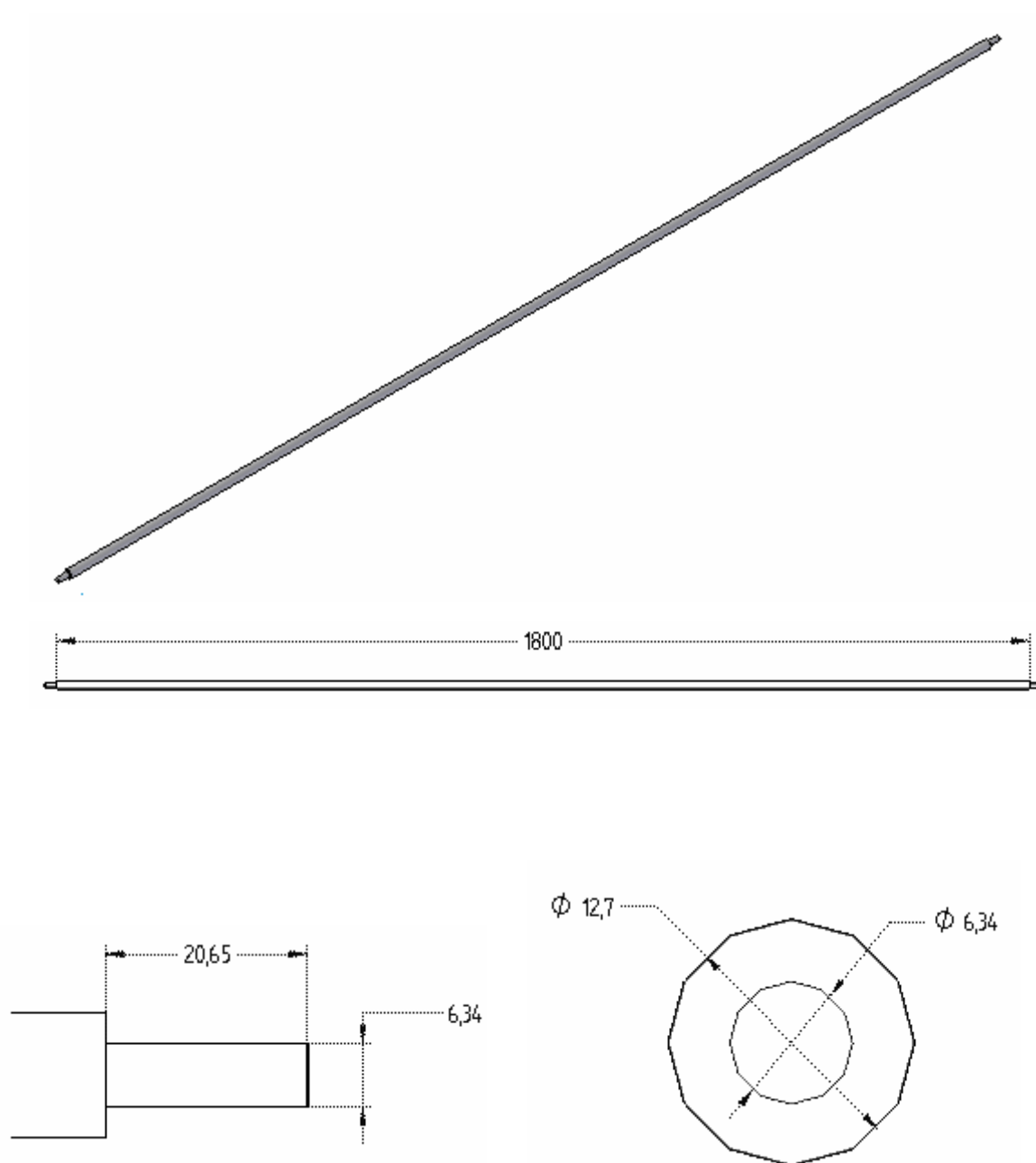
Soporte para Eje z
También usado en el eje X



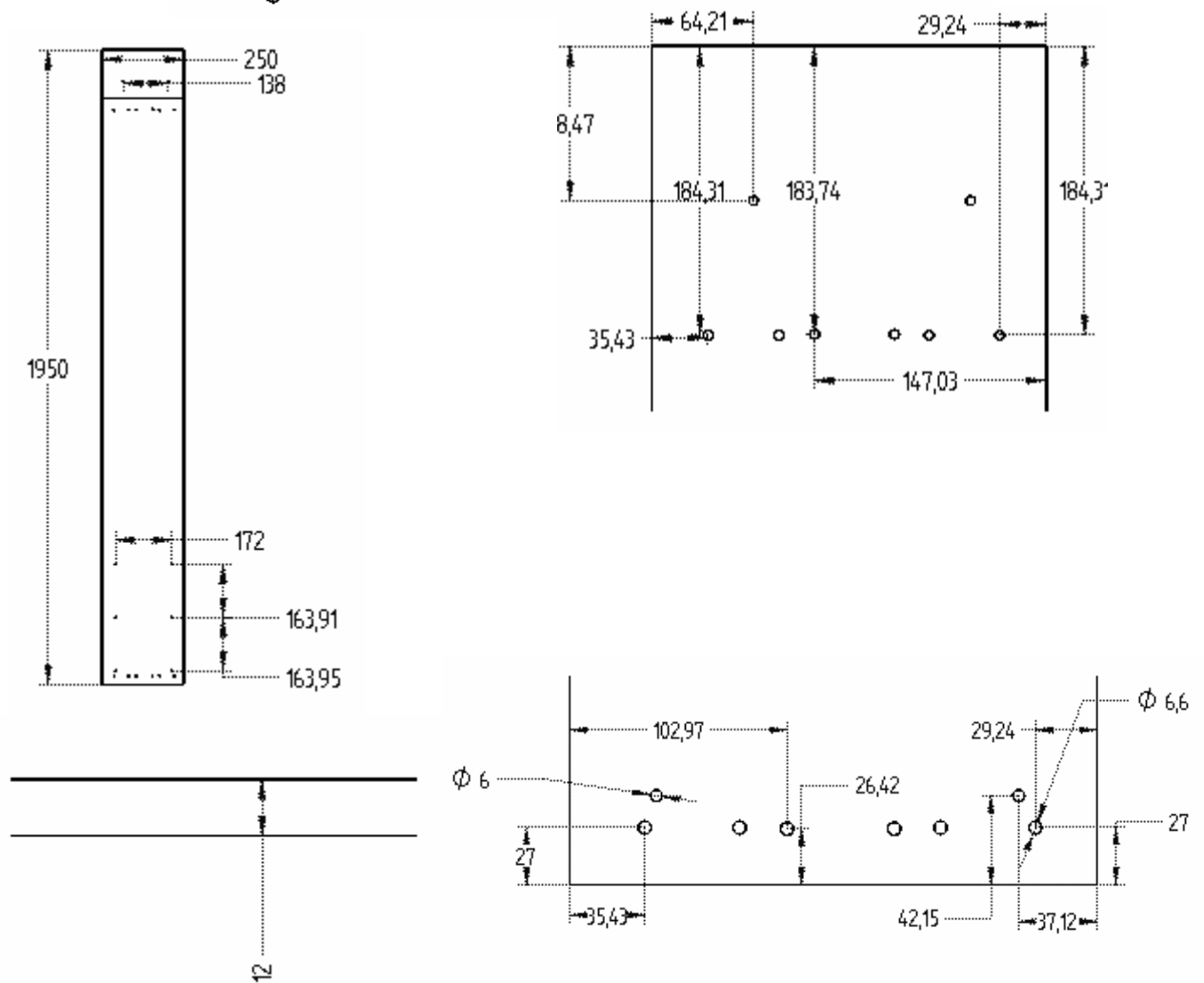
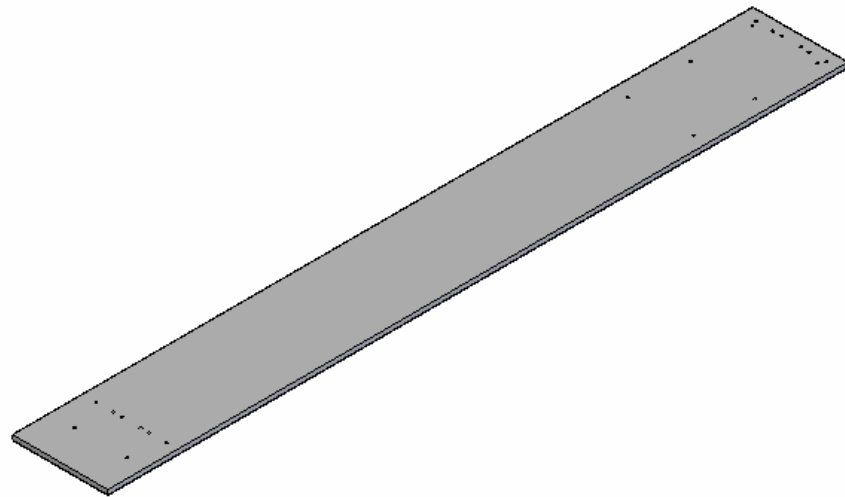
Flecha del Eje Z



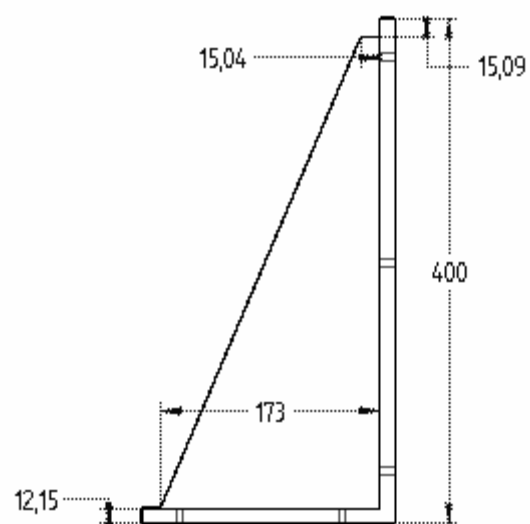
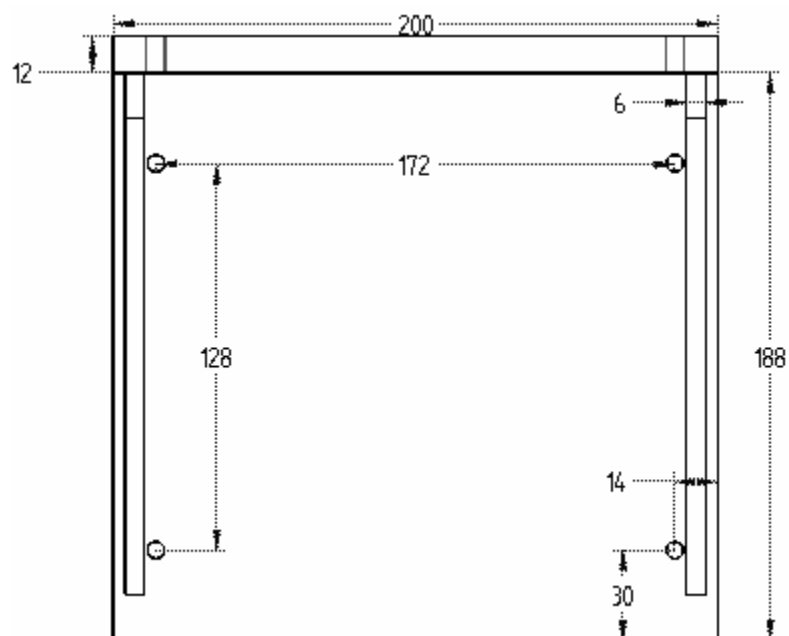
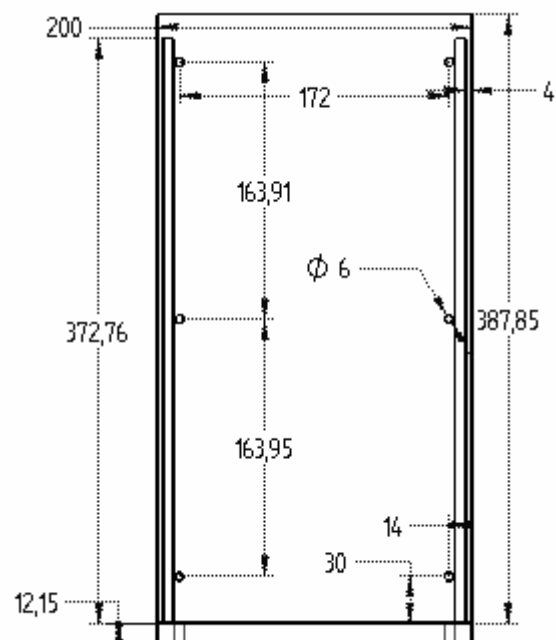
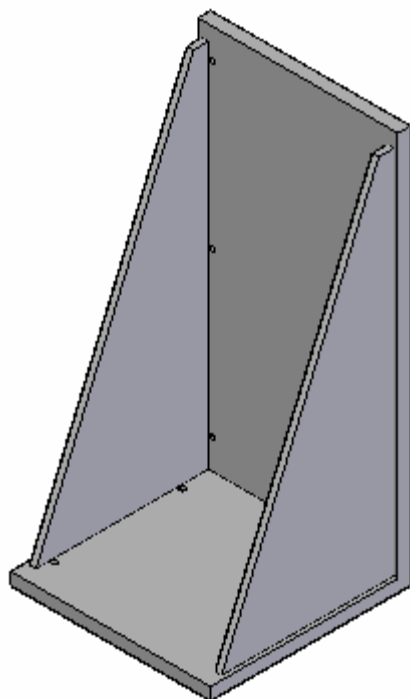
Tornillo sin fin Z
Diámetro menor: 9,652 Paso = 2,54



Partes Propias
Base para el eje Z



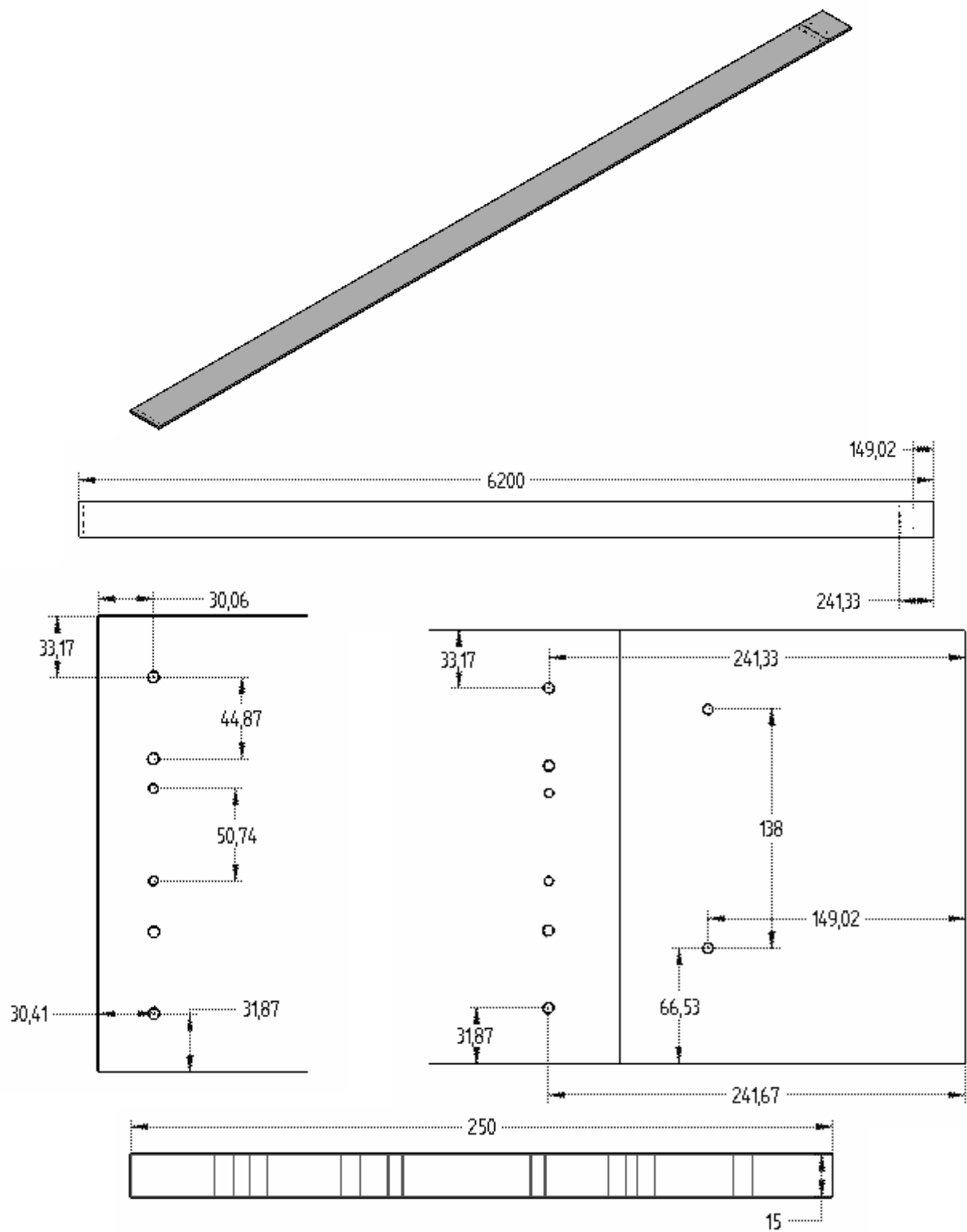
Pilar de unión entre el eje Z y el eje Y



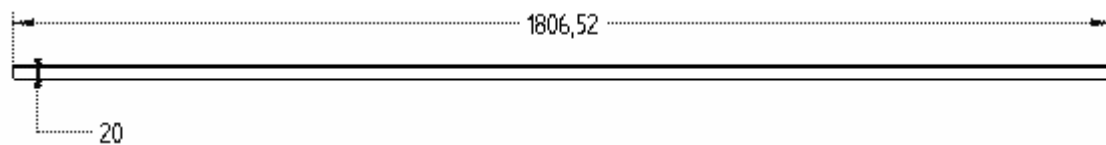
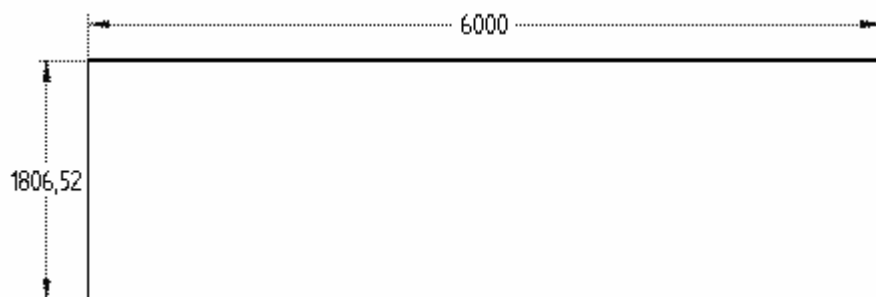
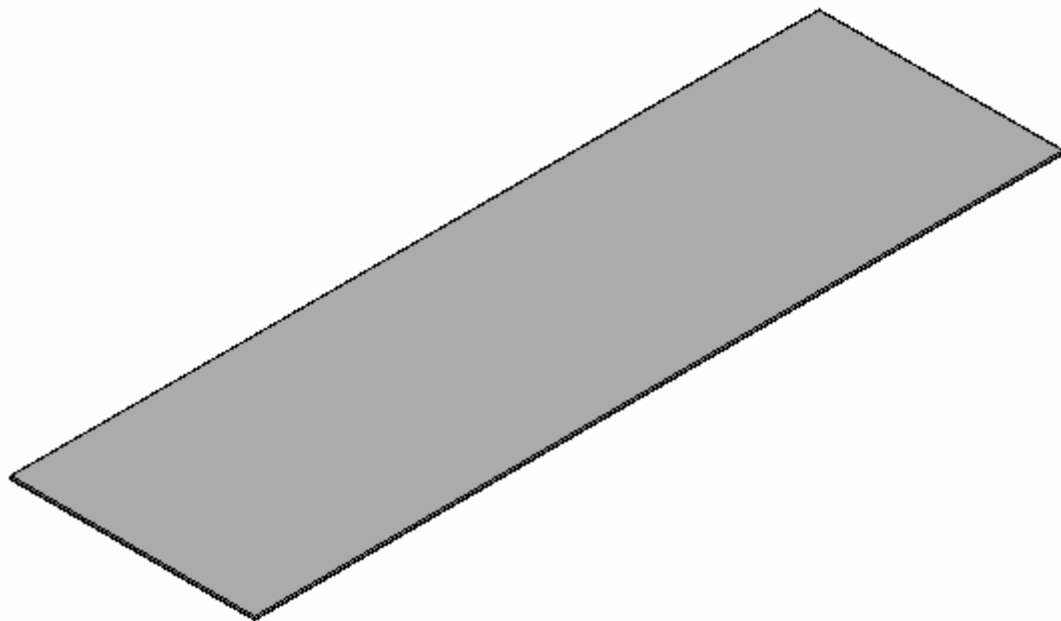
Piezas para el Eje X

Partes propias

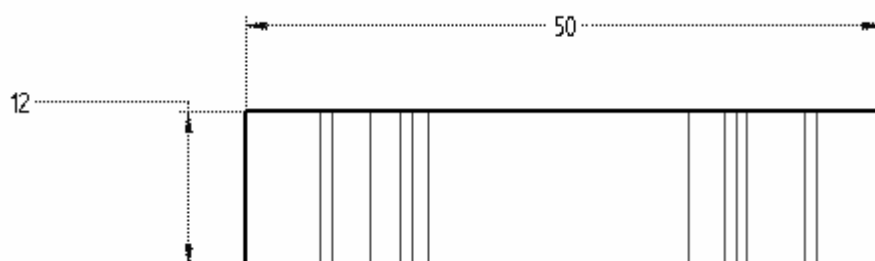
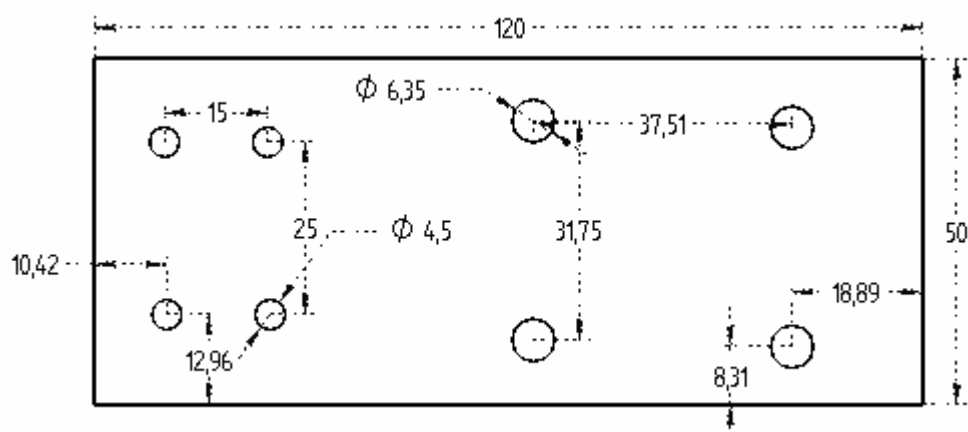
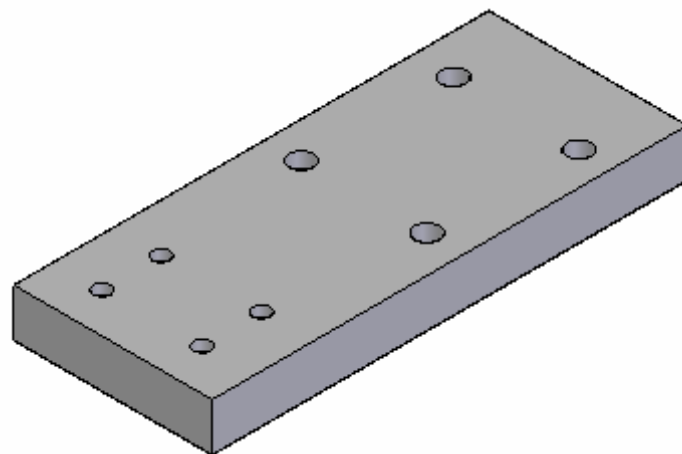
Base eje X



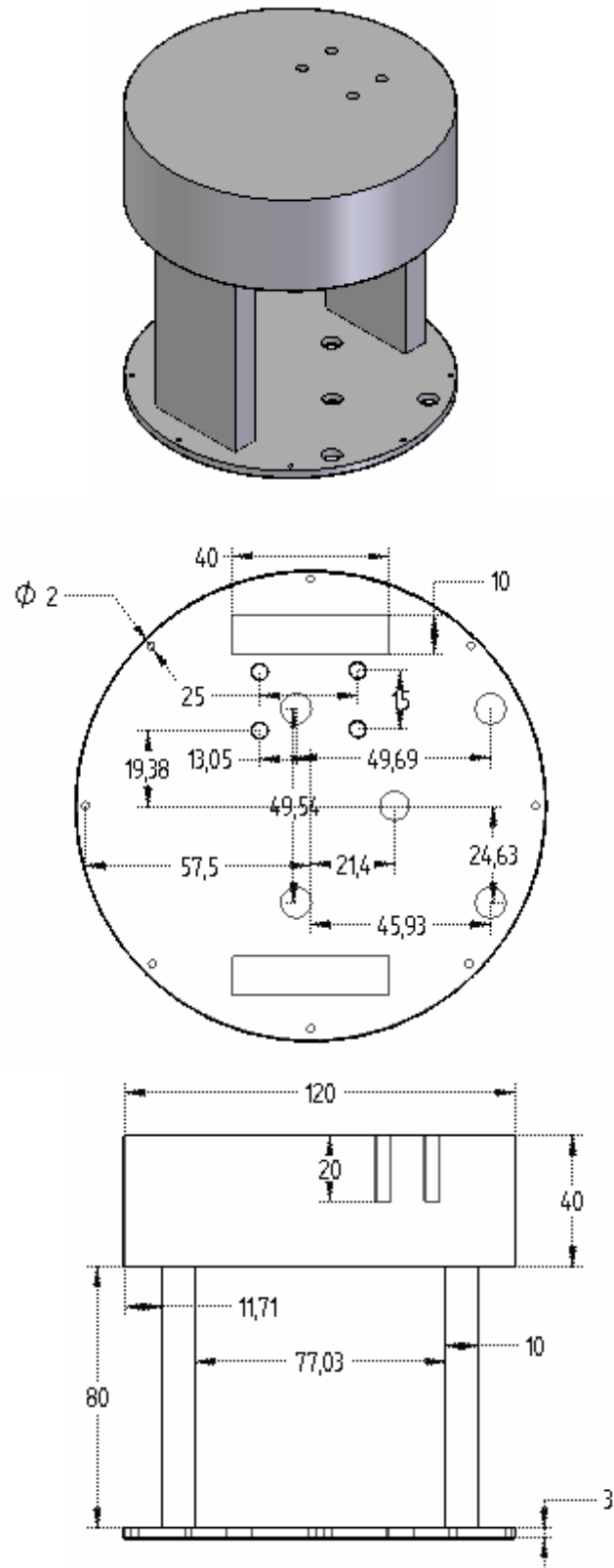
Piso de la máquina



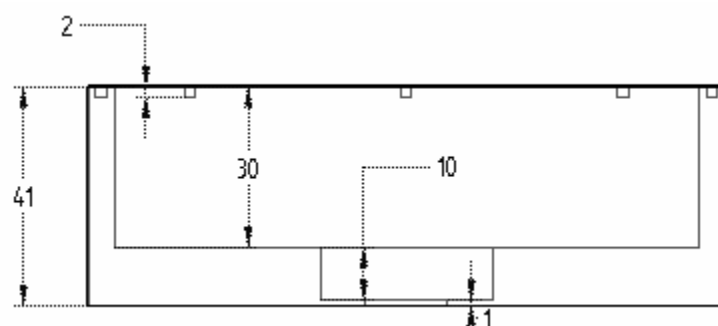
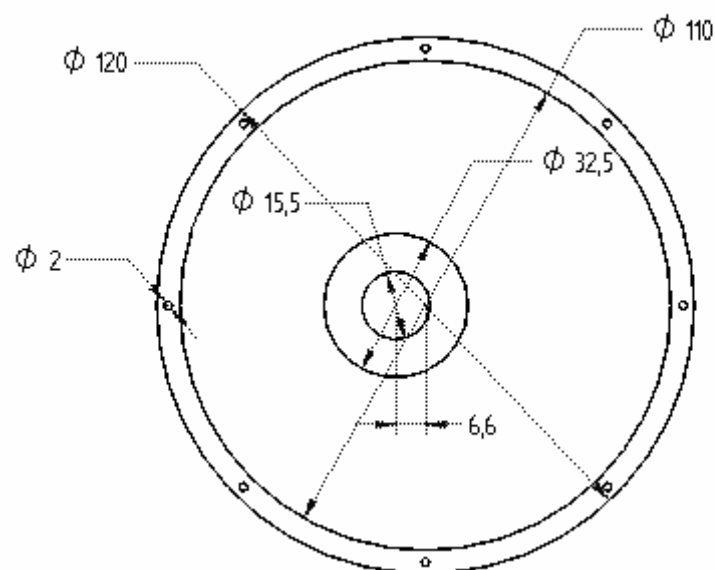
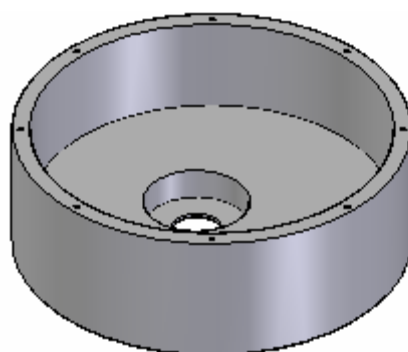
Piezas para Ejes C y A
Soporte entre eje C y eje Y



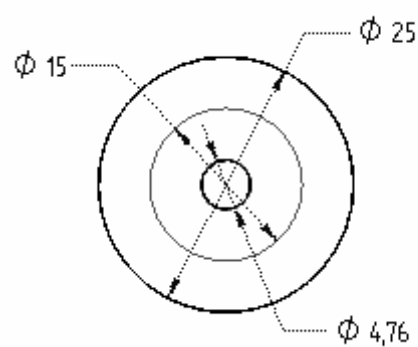
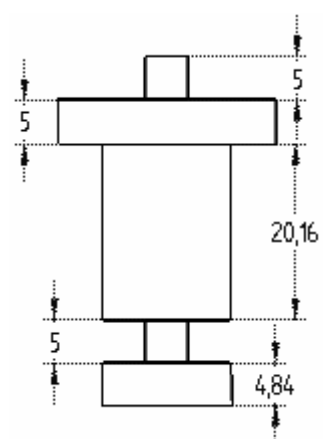
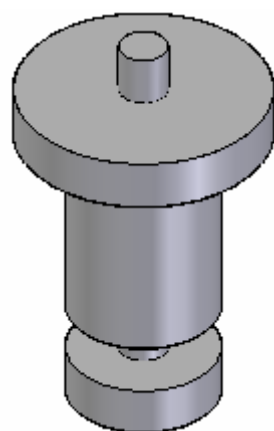
Tapa y soporte de la Cilindro del eje C



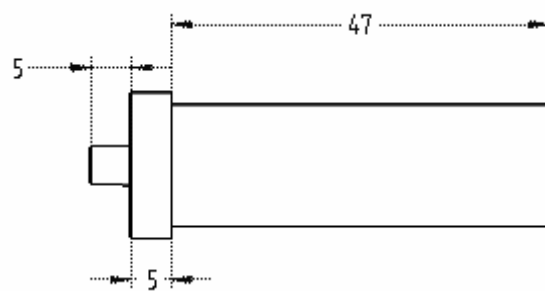
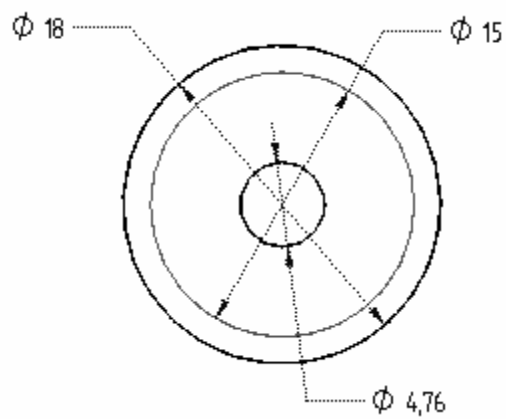
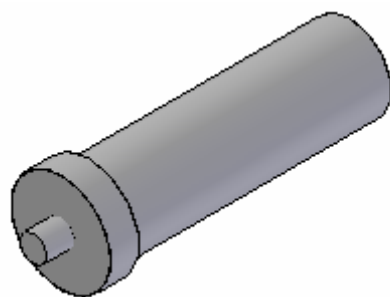
Cilindro del eje C



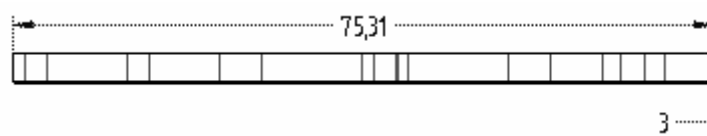
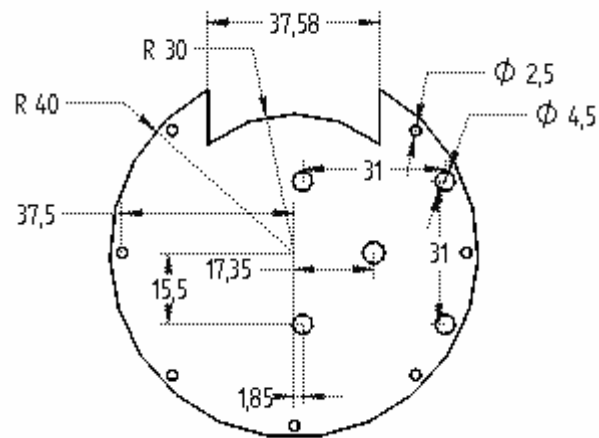
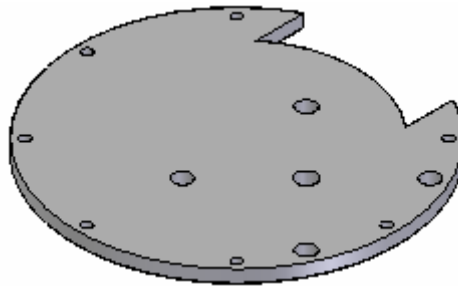
Eje C



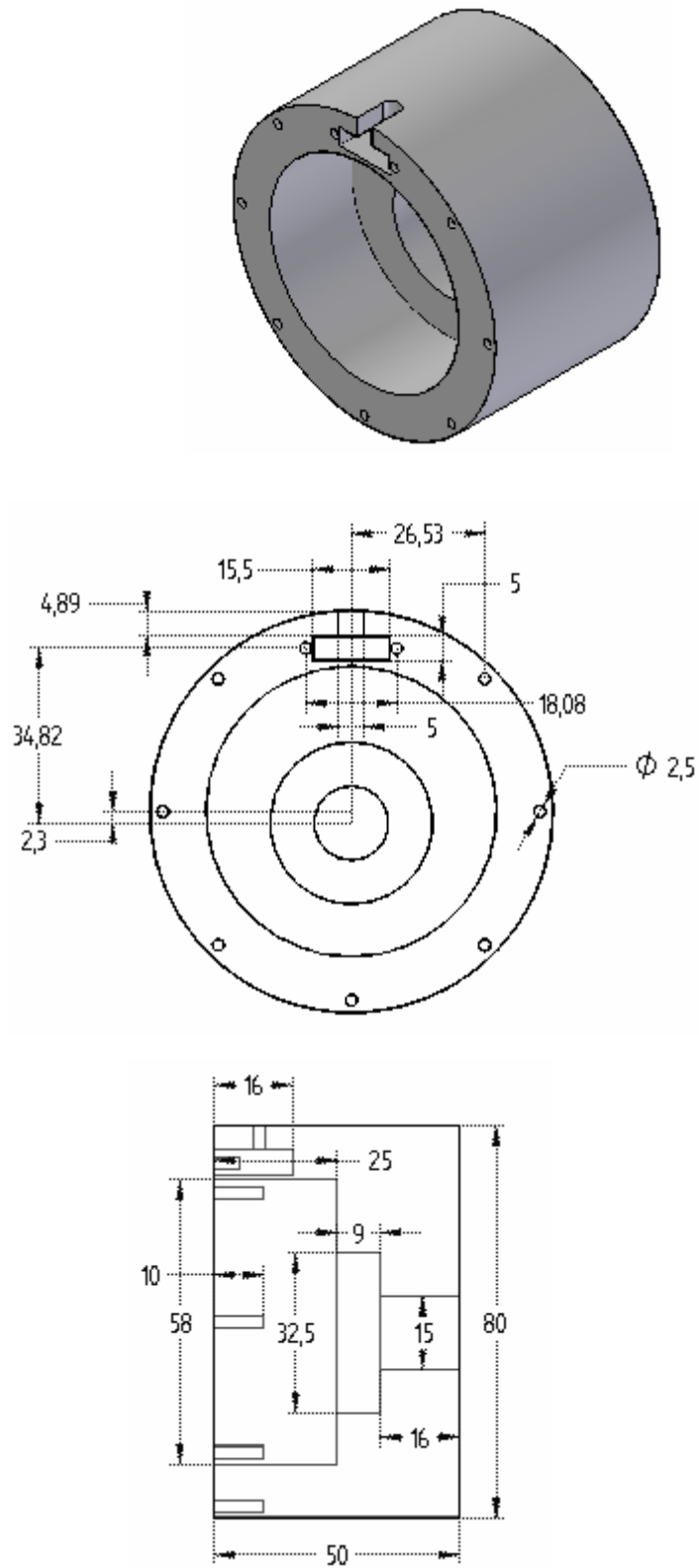
Eje A



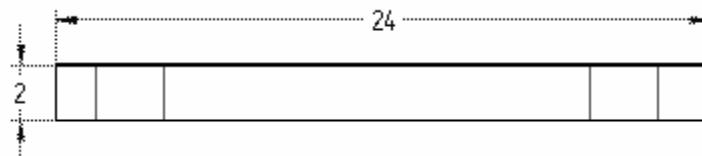
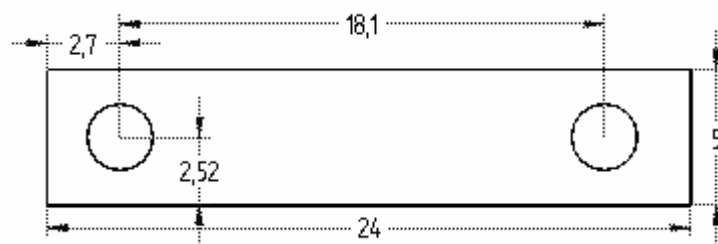
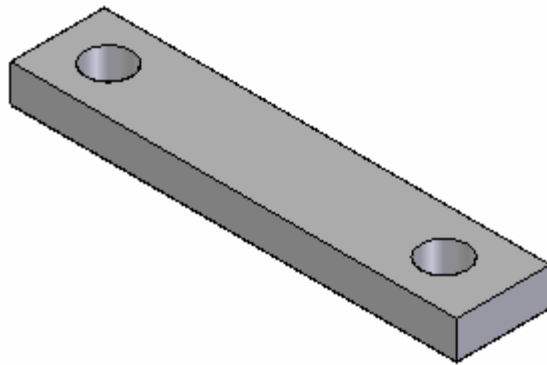
Tapa de la Cilindro del eje A



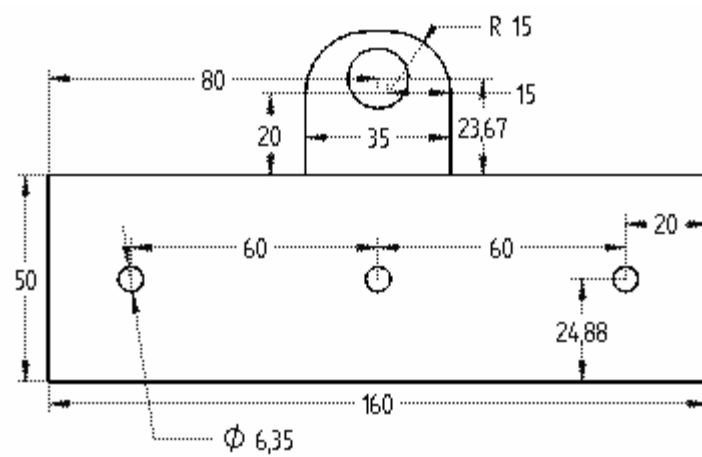
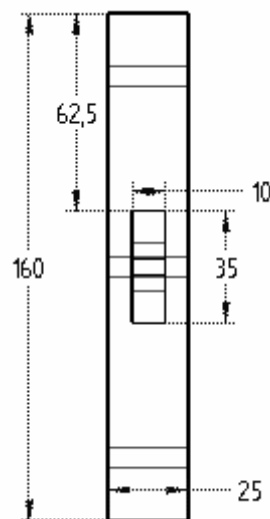
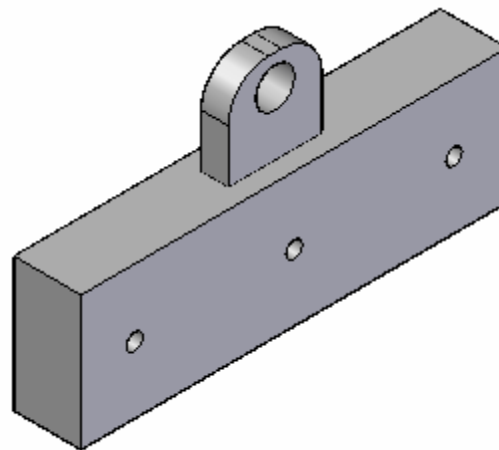
Cilindro del eje A



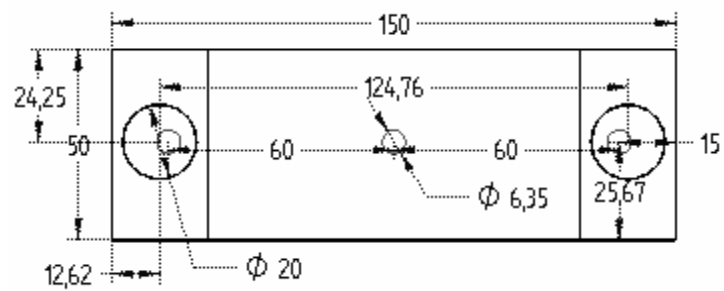
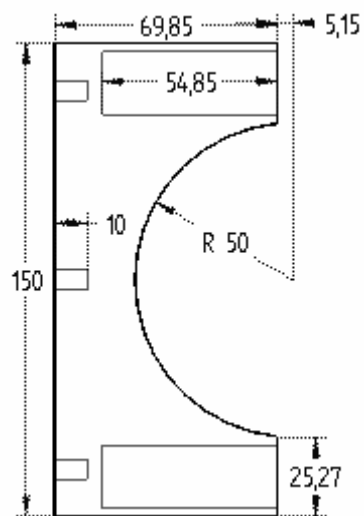
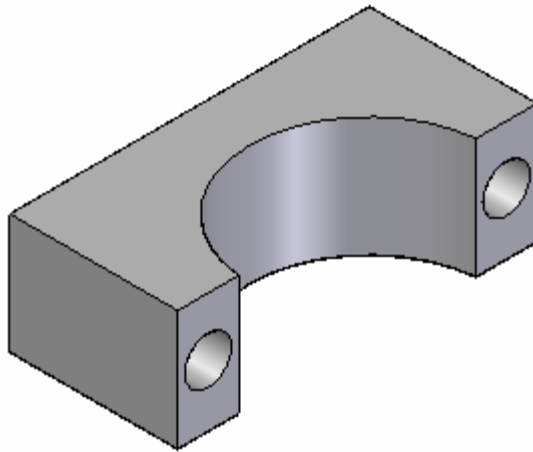
Sujetador del eje C



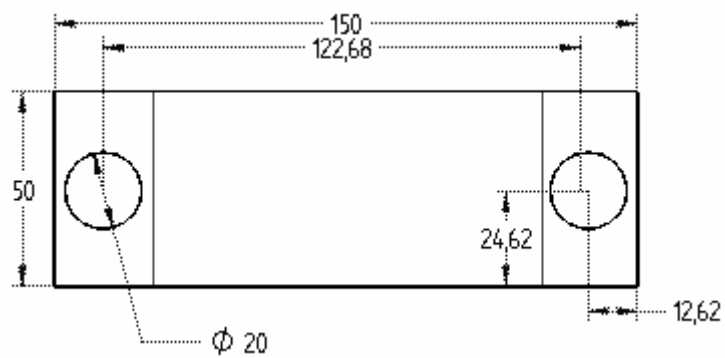
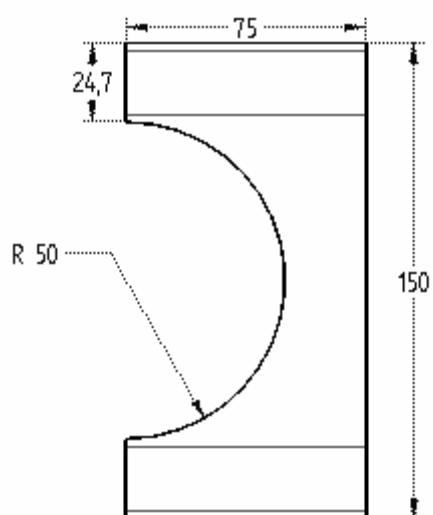
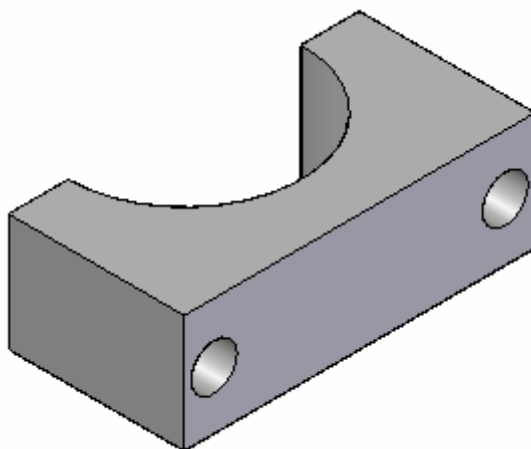
Soporte herramienta parte A



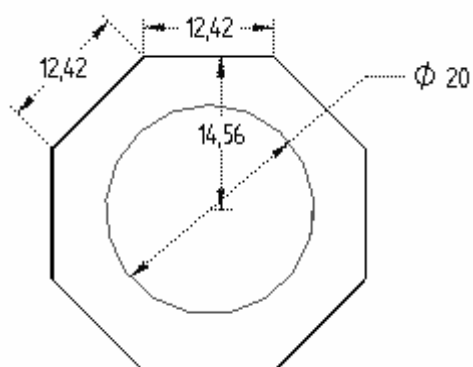
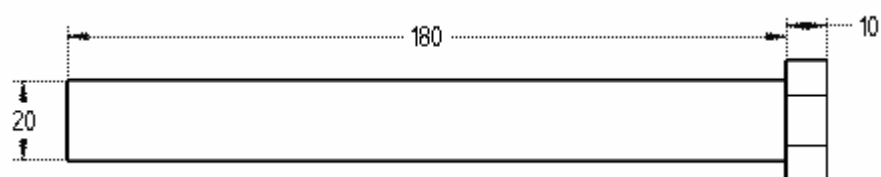
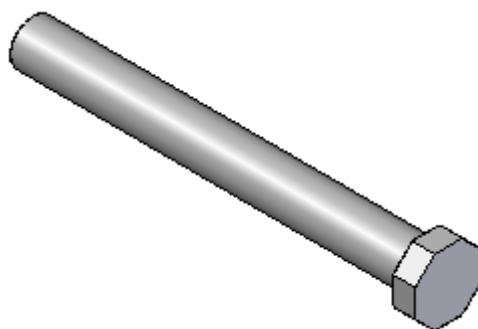
Parte B herramienta



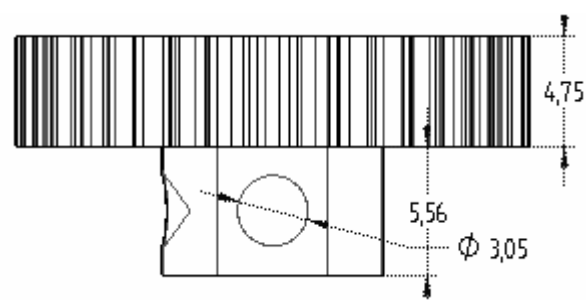
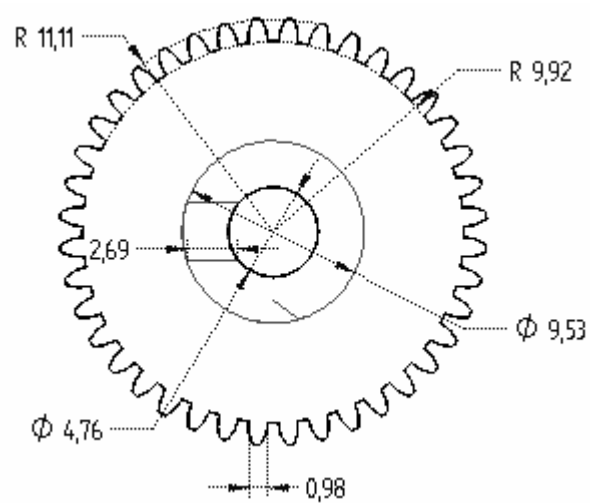
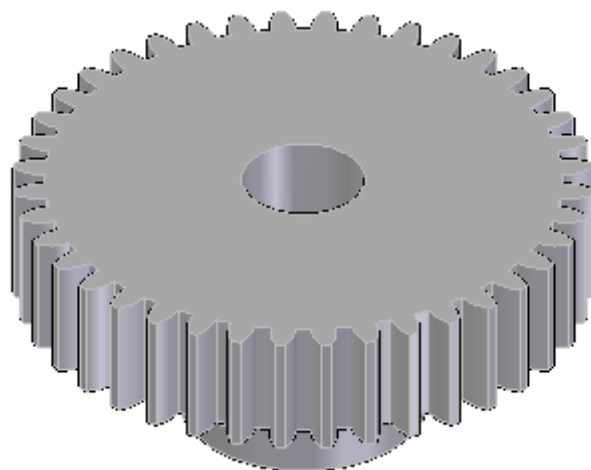
Parte C herramienta



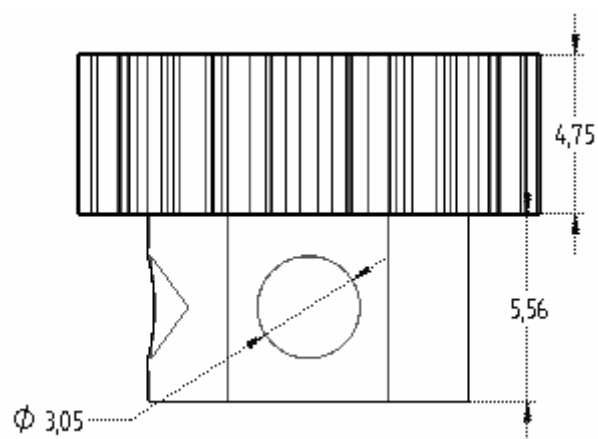
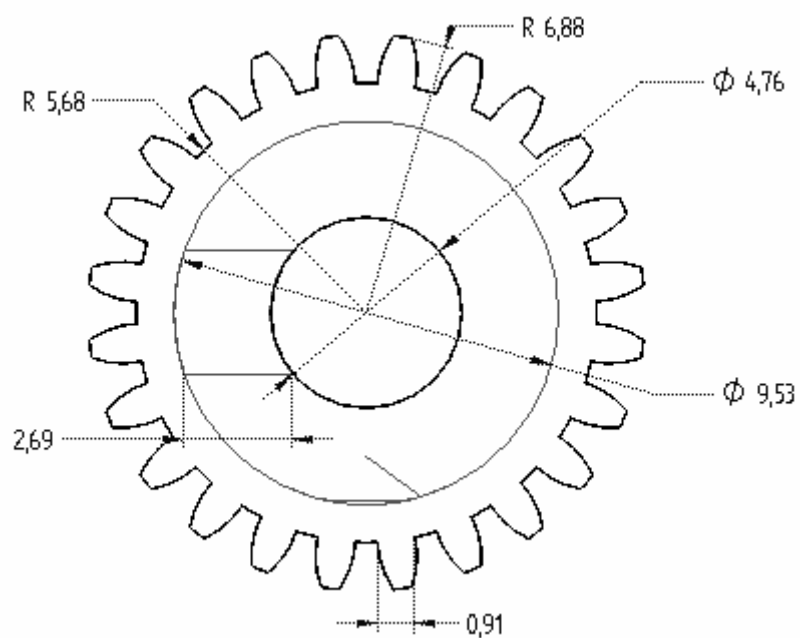
Tornillo para parte B y C de la herramienta



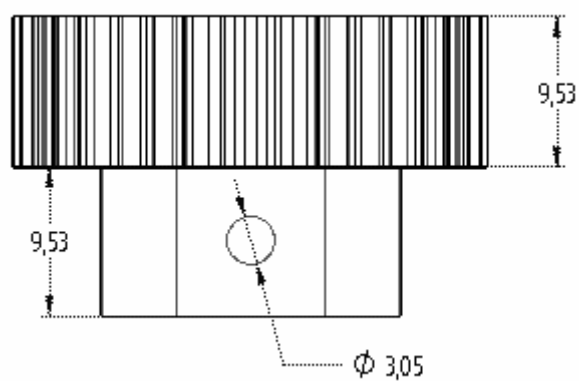
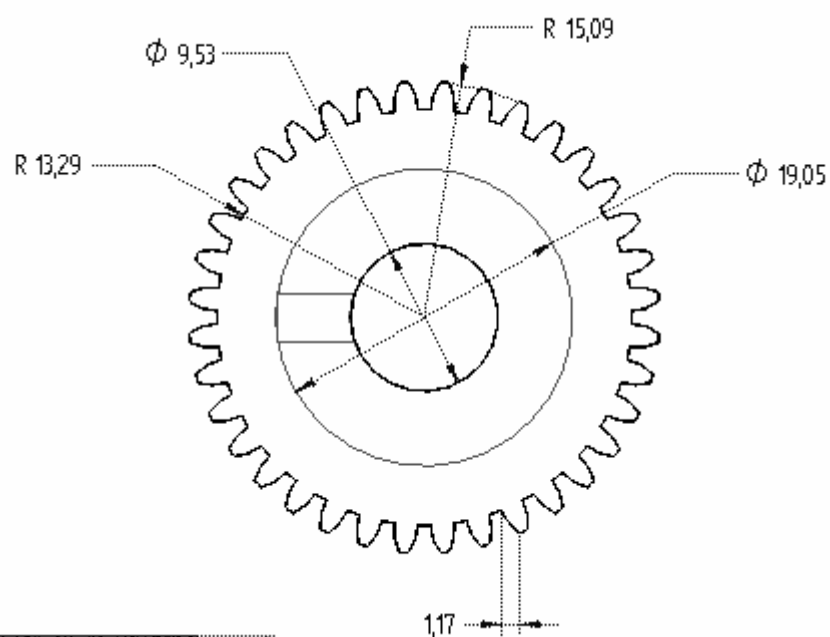
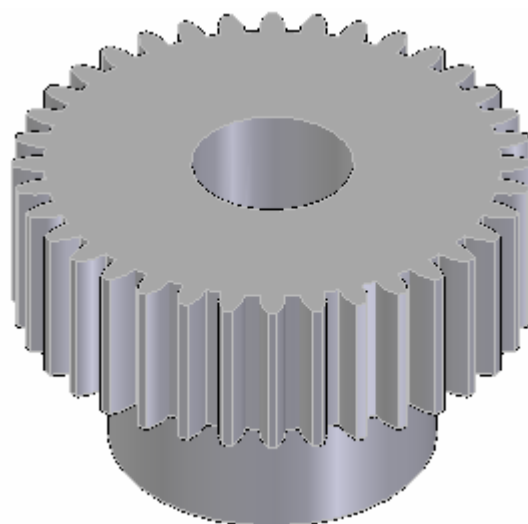
Engrane eje A
Numero de dientes: 40



Piñón del eje A
Numero de dientes: 24

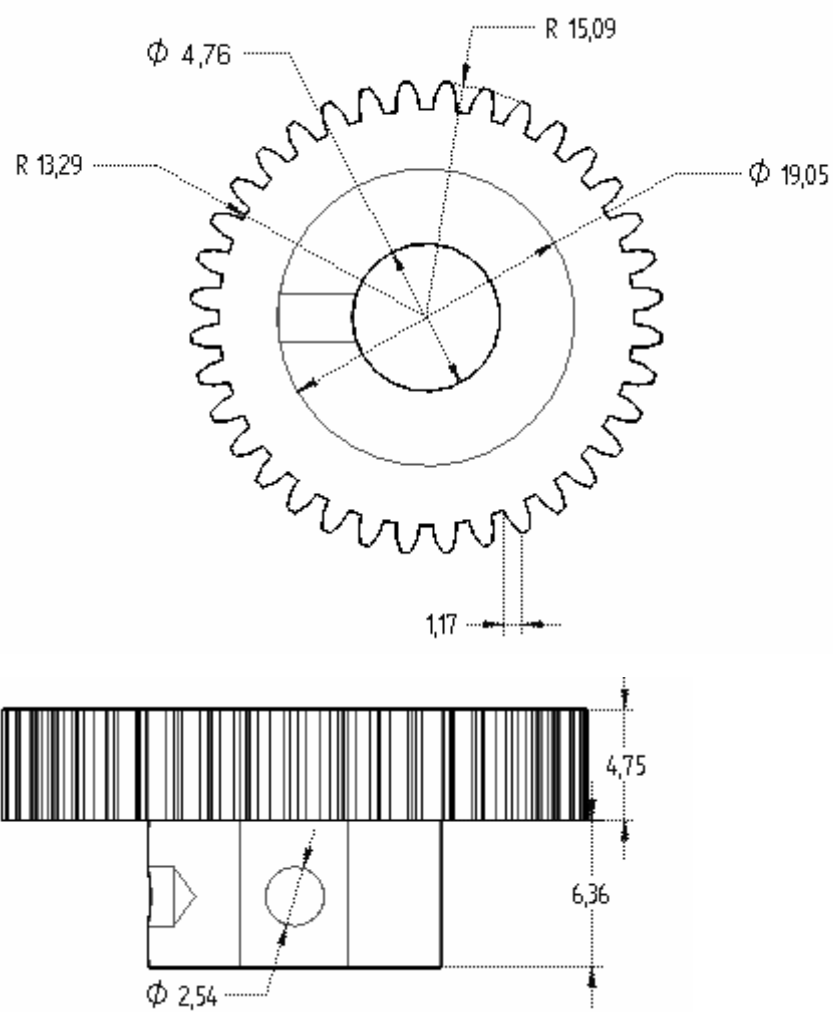
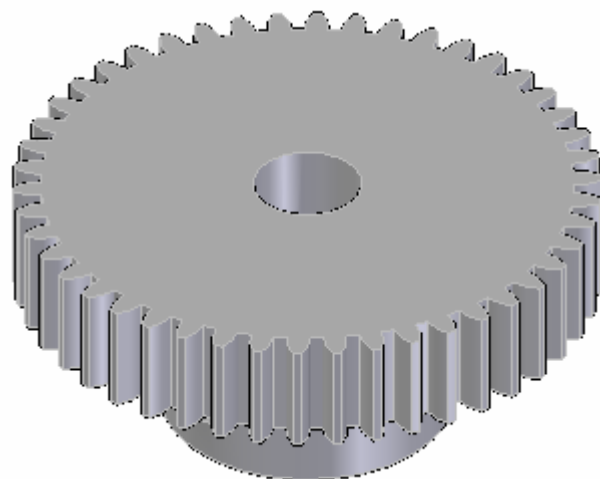


Engrane del eje C
 Numero de dientes: 36



P

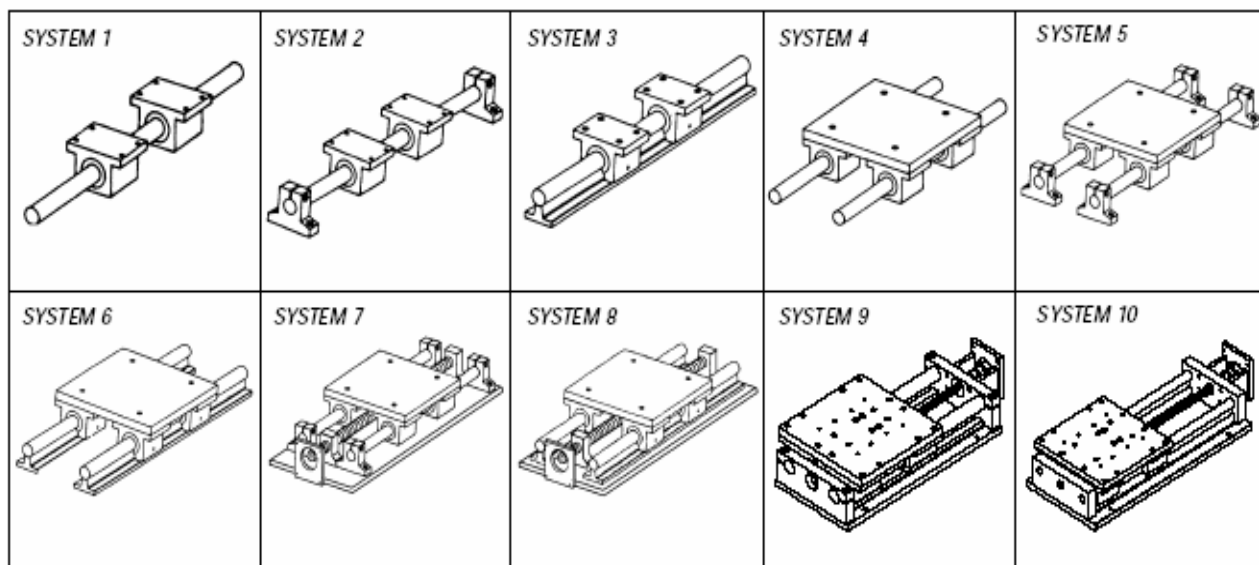
Numero de dientes:



Anexo 2

Sistemas Seleccionados 5 y 7 de los catálogos de PIC-Design

LINEAR MOTION SYSTEMS



The initial selection of the type of system that suits the application is best done by the design engineer. PIC offers ten standard systems, illustrated above and described below.

System 1 — Two linear bearings mounted in housings, with an unsupported shaft through both bearings.

System 2 — Two linear bearings mounted in housings, with a supported shaft through both bearings.

System 3 — Two linear bearings mounted in housings, with a shaft and shaft support rail through both bearings (particularly effective when shaft deflection may be a problem).

System 4 — Four linear bearings mounted in housings, with two parallel unsupported shafts through two bearings and joined by a carriage top.

System 5 — Four linear bearings mounted in housings, with two parallel supported shafts through two bearings and supports at both ends for mounting to a base and joined by a carriage top .

System 6 — Four linear bearings mounted in housings, with two parallel shafts and shaft support

rails through two bearings and joined by a carriage top.

System 7 — Same as system 5, but with lead screw, anti-backlash nut, ball bearings and housings, coupling, and motor adaptor, mounted on a common aluminum base .

System 8 — Same as system 6, but with lead screw, anti-backlash nut, ball bearings and housings, coupling, and motor adaptor, mounted on a common aluminum base.

System 9 — Specialized version of System 7. Precise alignment of rails and special linear bearing housings. The key to this unit is standard, one-size shafting which allows for quick delivery at a discounted cost.

System 10 — Specialized version of System 8. One-piece base plate with integral rail supports, precision machined to allow for superior specifications. The key to this unit is standard, one-size shafting which allows for quick delivery at a discounted cost.

END SUPPORTS VS RAIL SUPPORT

Systems 2, 5, 7 & 9 vs.

Systems 3, 6, 8 & 10

The proper diameter of the shafts in the linear motion system depends on the load that is to be carried. The shaft deflection at the center of the stroke can be estimated from the shaft selection table (table 5 or 6). If shaft deflection must be minimized, a continuous or intermittent support rail should be used.

CALCULATION OF SYSTEM LOADING AND BEARING SELECTION



LOAD CALCULATION

The main factors involved in the selection of bearing material and size are the load on a single bearing and the total travel life required. The load on a single bearing varies with the position of the center of gravity on the table top or carriage. To calculate the load on a single bearing:

1. For systems 1, 2, and 3, use load calculation diagram 1 for vertical applications, and load calculation diagram 2 for horizontal applications.
2. For systems 4, 5, 6, 7, and 8, use load calculation diagram 3 for horizontal axis, load calculation diagram 4 for vertical axis, and load calculation diagram 5 for vertical lateral axes.

DIAGRAM 1

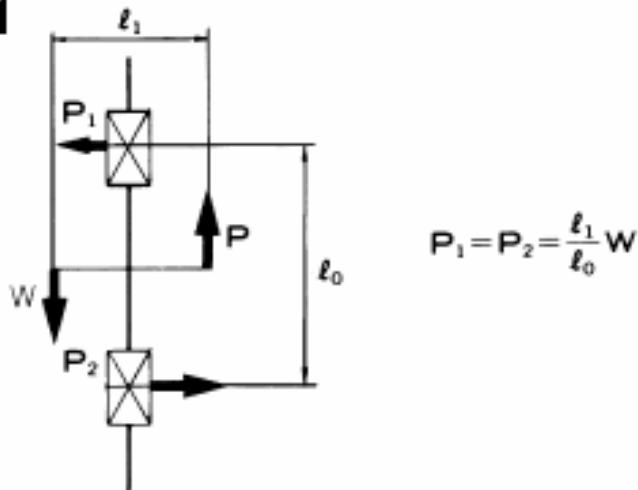


DIAGRAM 2

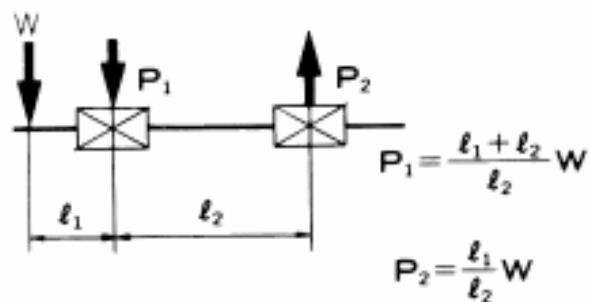
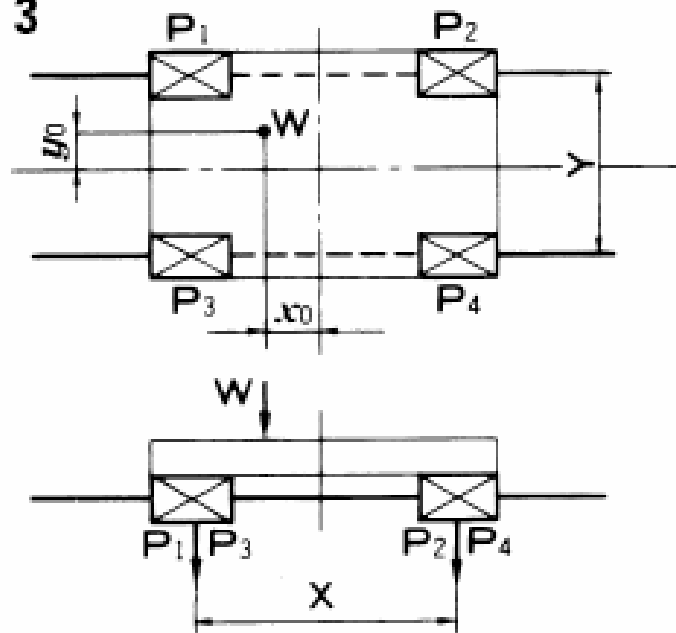


DIAGRAM 3



$$P_1 = \frac{1}{4} W + \frac{x_0}{2X} W + \frac{y_0}{2Y} W$$

$$P_2 = \frac{1}{4} W - \frac{x_0}{2X} W + \frac{y_0}{2Y} W$$

$$P_3 = \frac{1}{4} W + \frac{x_0}{2X} W - \frac{y_0}{2Y} W$$

$$P_4 = \frac{1}{4} W - \frac{x_0}{2X} W - \frac{y_0}{2Y} W$$

DIAGRAM 4

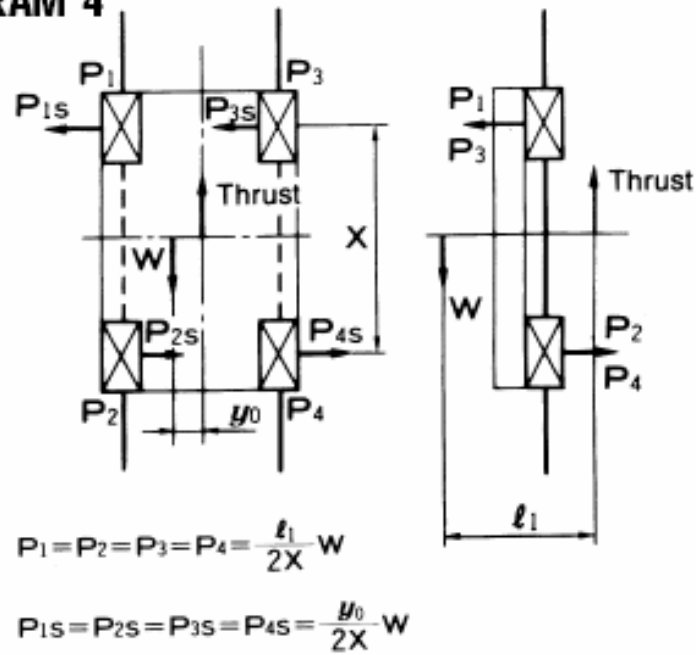
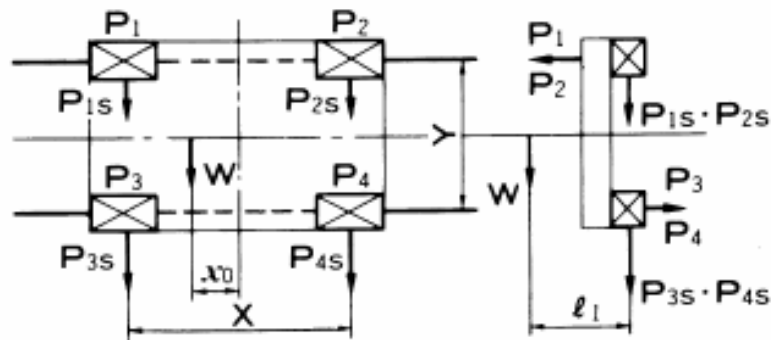


DIAGRAM 5



P = FORCE ON BEARINGS
W = WEIGHT ON SYSTEM

BEARING SELECTION

Two types of bearings, self-aligning recirculating ball bearings and engineered plastic bearings, are available from PIC for use in linear motion systems. Both types are available in inch or metric sizes, and closed or open styles.

SELF-ALIGNING BEARINGS

The formulas and tables listed below will enable the designer to select the proper self-aligning bearings to meet the required life.

Basic Dynamic Load Rating and Life Expectancy

The basic dynamic load rating of a self-aligning bearing is the load which allows a rating life of 2,000,000 inches or 50,000 meters of travel, without change in magnitude or direction. The rating life of a bearing for a particular application can be calculated from the following equations:

For inch calculations,

$$L = \left[\frac{f_h}{f_w} \cdot \frac{C}{P} \right]^3 \cdot 2 \cdot 10^6$$

For metric calculations,

$$L = \left[\frac{f_h}{f_w} \cdot \frac{C}{P} \right]^3 \cdot 10^5$$

With:

L = rating life in inches for inch calculations, in meters for metric calculations

f_h = hardness factor (1.0); shafts are 60-65 HRC

f_w = load coefficient (refer to table 1)

C = basic design load rating in pounds for inch calculations, in Newtons for metric calculations (refer to table 2 or 3)

P = force in pounds for inch calculations, force in Newtons for metric calculations, determined from load calculation diagrams 1 through 5, as applicable
Rating life in hours can be calculated from the travel distance per unit of time, as follows:

$$L_h = \frac{L}{2 \cdot L_s \cdot n_1 \cdot 60}$$

With:

L_h = rating life in hours

L_s = stroke length in inches for inch calculations, in meters for metric calculations

n₁ = rating in cycles per minute

To calculate the basic dynamic load rating, use the following formulas:

For distances in inches,

$$C = \sqrt[3]{\frac{L}{2 \cdot 10^6}} \cdot \frac{f_w}{f_h} \cdot P$$

For distances in kilometers,

$$C = \sqrt[3]{\frac{L}{1 \cdot 10^5}} \cdot \frac{f_w}{f_h} \cdot P$$

Example of Calculations

System Type:	5
Expected Life:	20,000 hours
Number Of Bearings:	4
Weight On Carriage:	175 lb
Stroke Distance:	24 inches
Traveling Speed:	1000 in. / min
Cycle:	2 x 24 inches
Shaft:	A10L series

The assumption is that the 175 pound load is distributed evenly between bearings; therefore, PIC system 5 with 1-inch diameter bearings having a load capacity of 850 pounds is selected.

From the life expectancy in hours formula, the life expectancy in traveling distance is:

$$L_h = \frac{L}{2 L_s n_1 \cdot 60}$$

$$L = L_h \cdot 2 \cdot L_s \cdot n_1 \cdot 60$$

$$L = 20,000 \cdot 2 \cdot 24 \cdot \frac{1000}{2 \cdot 24} \cdot 60$$

$$L = 1.20 \times 10^9 \text{ inches}$$

From the dynamic load rating formula:

$$C = \sqrt[3]{\frac{L}{2 \cdot 10^6}} \cdot \frac{f_w}{f_h} \cdot P$$

$$C = \sqrt[3]{\frac{1.2 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^6}} \cdot \frac{1.5}{1.0} \cdot \frac{175}{4}$$

$$C = 553 \text{ lb}$$

Table 1. Load Coefficient

Operating Conditions	f_w
Operation at low speed (50 ft/min or 15 m/min or less) without impulsive shock from outside	1 - 1.5
Operation at intermediate speed (200 ft/min or 60 m/min or less) without impulsive shock	1.5 - 2.0
Operation at high speed (over 200 ft/min or 60 m/min) with impulsive shock from outside	2.0 - 3.5

Table 2. C Dynamic Load Rating of Inch Bearings

Shaft Diameter (inch)	Rating (lb)	PIC Part No.	
		Closed	Open
1/4	60	PFL-4	—
3/8	95	PFL-6	—
1/2	230	PFL-8	PFL0-8
5/8	400	PFL-10	PFL0-10
3/4	470	PFL-12	PFL0-12
1	850	PFL-16	PFL0-16
1 1/4	1230	PFL-20	PFL0-20
1 1/2	1480	PFL-24	PFL0-24

Table 3. C Dynamic Load Rating of Metric Bearings

Shaft Diameter (mm)	Rating (Newtons)	PIC Part No.
CLOSED TYPE		
12	650	MPFL-12
16	800	MPFL-16
20	1500	MPFL-20
25	2500	MPFL-25
30	3200	MPFL-30
40	5550	MPFL-40
OPEN TYPE		
12	750	MPFL0-12
16	920	MPFL0-16
20	1560	MPFL0-20
25	2600	MPFL0-25
30	3330	MPFL0-30
40	5740	MPFL0-40

ENGINEERED PLASTIC LINEAR BEARINGS

PIC self-lubricating plastic bearings are maintenance free, run quietly, are not subject to catastrophic failure, do not gall or brinell the mating shaft, and can run on “soft” noncorrosive 303 stainless steel shafting. These bearings are also capable of operation in hostile environments and are interchangeable with PIC self-aligning, recirculating bearings.

Bearing PV Rating

The performance capabilities of engineered plastic linear bearings are defined by the PV rating of the bearings, where P is the pressure in pounds per square inch on the projected bearing area, and V is the velocity in feet per minute of the wear surface. Maximum PV for continuous operation is 7500 PSI/FPM. To calculate PV for a particular application, divide the total load in pounds on the bearing by the effective area in square inches, and multiply by the average bearing velocity in feet per minute.

Example of Calculation:

System Type:	5
Number Of Bearings:	4
Weight On Carriage:	175 lb
Load Per Bearing:	$175 / 4 = 43.75$ lb
Traveling Speed:	1000 in./min or 83.33 ft/min
Bearing Selected:	PLC-16 (1 in. = ID, 2.25 in. long = L)

$$P = \frac{\text{Load (lb.)}}{\text{ID} \cdot L} = \frac{43.75}{1 \cdot 2.25} = 19.44 \text{ PSI}$$

$$PV = 19.44 \cdot 83.33 = 1620 \text{ PSI/FPM}$$



DETERMINATION OF SHAFT DEFLECTION

Once the appropriate bearing has been selected to fulfill the load requirements of the application, the shaft deflection must be determined. Dimensions and tolerances of PIC shafts are listed in table 4. The required shaft diameter is dictated by the ID of the selected bearing, and the deflection can be determined from table 5 or 6 for inch or metric systems, respectively.

Table 4. Shaft Diameters and Tolerances

Diameter (inch)	PIC Series	Tolerance (inch)
1/4	A10L-4	0.2495 / 0.2490
3/8	A10L-6	0.3745 / 0.3740
1/2	A10L-8	0.4995 / 0.4990
5/8	A10L-10	0.6245 / 0.6240
3/4	A10L-12	0.7495 / 0.7490
1	A10L-16	0.9995 / 0.9990
1 1/4	A10L-20	1.2495 / 1.2490
1 1/2	A10L-24	1.4994 / 1.4989

Note:

Deflections listed above are based on system being fixed at both ends, with load in center of span.

Using the formula:

$$\text{Deflection} = \frac{W_s L^3}{192EI}$$

W_s = Load on shaft

L = Length

E = Modulus of elasticity

I = Moment of inertia of cross section

Example:

Shaft: 1/4 in. diameter

Load: 8 pounds

Length: 10 inches

Multiplier

(From Table 5): 9.15×10^{-4} inches/pound

$$\text{Deflection} = \frac{9.15 \times 10^{-4} \text{ inches}}{\text{pound}} \times 8 \text{ pounds} = .0073 \text{ inches}$$

Table 5. Shaft Deflection Table (Inch Systems). Deflection Per Pound At Center Of Fixed Supporting Shaft.

Shaft Diameter (inches)	Length Of Unsupported Section (inches)												
	4	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48	72
1/4	5.85×10^{-5}	1.98×10^{-4}	4.68×10^{-4}	9.15×10^{-4}	1.58×10^{-3}	3.75×10^{-3}	7.32×10^{-3}	1.26×10^{-2}	2.5×10^{-2}				
3/8	1.20×10^{-5}	4.05×10^{-5}	9.63×10^{-5}	1.79×10^{-4}	3.25×10^{-4}	7.68×10^{-4}	1.43×10^{-3}	2.60×10^{-3}	4.83×10^{-3}	8.33×10^{-3}	1.32×10^{-2}	1.98×10^{-2}	
1/2	3.63×10^{-6}	1.23×10^{-5}	2.90×10^{-5}	5.68×10^{-5}	9.83×10^{-5}	2.33×10^{-4}	4.50×10^{-4}	7.85×10^{-4}	1.53×10^{-3}	2.65×10^{-3}	4.20×10^{-3}	6.28×10^{-3}	2.12×10^{-2}
3/4	7.15×10^{-7}	2.42×10^{-6}	5.73×10^{-6}	1.12×10^{-5}	1.94×10^{-5}	4.58×10^{-5}	8.95×10^{-5}	1.55×10^{-4}	3.02×10^{-4}	5.23×10^{-4}	8.30×10^{-4}	1.24×10^{-3}	4.18×10^{-3}
1	2.25×10^{-7}	7.70×10^{-7}	1.76×10^{-6}	3.55×10^{-6}	6.15×10^{-6}	1.46×10^{-5}	2.85×10^{-5}	4.93×10^{-5}	9.63×10^{-5}	1.66×10^{-4}	2.63×10^{-4}	3.93×10^{-4}	1.33×10^{-3}
1 1/4	9.30×10^{-8}	3.13×10^{-7}	7.45×10^{-7}	1.45×10^{-6}	2.50×10^{-6}	5.95×10^{-6}	1.16×10^{-5}	2.01×10^{-5}	3.93×10^{-5}	6.78×10^{-5}	1.08×10^{-4}	1.61×10^{-4}	5.43×10^{-4}
1 1/2	4.48×10^{-8}	1.51×10^{-7}	3.58×10^{-7}	7.00×10^{-7}	1.21×10^{-6}	2.88×10^{-6}	5.60×10^{-6}	9.68×10^{-6}	1.89×10^{-5}	3.28×10^{-5}	5.18×10^{-5}	7.75×10^{-5}	2.58×10^{-4}
2	1.42×10^{-8}	4.78×10^{-8}	1.13×10^{-7}	2.21×10^{-7}	3.83×10^{-7}	9.05×10^{-7}	1.77×10^{-6}	3.05×10^{-6}	5.98×10^{-6}	1.03×10^{-5}	1.64×10^{-5}	2.45×10^{-5}	8.25×10^{-5}

Table 6. Shaft Deflection Table (Metric Systems). Deflection Per kgf At Center Of Fixed Supporting Shaft.

Shaft Diameter (mm)	Length Of Unsupported Section (mm)							
	125	250	500	750	1000	1250	1500	2000
12	4.75×10^{-4}	3.80×10^{-3}	3.04×10^{-2}	1.02×10^{-1}	2.4×10^{-1}	4.75×10^{-1}	8.21×10^{-1}	1.95
16	1.50×10^{-4}	1.20×10^{-3}	9.62×10^{-3}	3.25×10^{-2}	7.7×10^{-2}	1.50×10^{-1}	2.59×10^{-1}	6.16×10^{-1}
20	6.15×10^{-5}	4.92×10^{-4}	3.94×10^{-3}	1.33×10^{-2}	3.15×10^{-2}	6.15×10^{-2}	1.06×10^{-1}	2.52×10^{-1}
25	2.52×10^{-5}	2.02×10^{-4}	1.62×10^{-3}	5.45×10^{-3}	1.29×10^{-2}	2.52×10^{-2}	4.36×10^{-2}	1.03×10^{-1}
30	1.21×10^{-5}	9.72×10^{-5}	7.78×10^{-4}	2.63×10^{-3}	6.23×10^{-3}	1.21×10^{-2}	2.10×10^{-2}	4.98×10^{-2}
40	3.84×10^{-6}	3.07×10^{-5}	2.45×10^{-4}	8.30×10^{-4}	1.96×10^{-3}	3.84×10^{-3}	6.64×10^{-3}	1.57×10^{-2}

$$\text{Shaft Load} = \frac{\text{Total Load}}{\text{Number of Shafts}}$$

Note:

Deflections listed above are based on system being fixed at both ends, with load in center of span.

Using the formula:

$$\text{Deflection} = \frac{W_s L^3}{192EI}$$

W_s = Load on shaft

L = Length

E = Modulus of elasticity

I = Moment of inertia of cross section

Example:

Shaft: 20 mm diameter

Load: 25 kgf

Length: 1000 mm

Multiplier

(From Table 6): 3.15×10^{-2} mm/kgf

$$\text{Deflection} = \frac{3.15 \times 10^{-2} \text{ mm}}{\text{kgf}} \times 25 \text{ kgf} = 0.7875 \text{ mm}$$

COMPONENT SELECTION SYSTEMS 4 AND 5 / INCH & METRIC

Bill of Material — Systems 4 and 5 / Inch

Section A *											Section B *	
Shaft Dia. (in)	Bearing			Bearing Housing		Shafting			Table Top		Shaft Hanger	
	Type	Part No.	QTY	Part No.	QTY	Type	Part No.	QTY	Part No.	QTY	Part No.	QTY
1/4	Self-Aligning	PFL-4	4	S5-1	4	1060 Steel	A10L-4- **	2	LMT25-40	1	SHA-4	4
	Engr. Plastic	PLC-4	4			303 Stainless	A11-4- **					
3/8	Self-Aligning	PFL-6	4	S5-2	4	1060 Steel	A10L-6- **	2	LMT37-40	1	SHA-6	4
	Engr. Plastic	PLC-6	4			303 Stainless	A11-6- **					
1/2	Self-Aligning	PFL-8	4	S5-3	4	1060 Steel	A10L-8- **	2	LMT50-55	1	SHA-8	4
	Engr. Plastic	PLC-8	4			303 Stainless	A11-8- **					
5/8	Self-Aligning	PFL-10	4	S5-4	4	1060 Steel	A10L-10- **	2	LMT62-55	1	SHA-10	4
	Engr. Plastic	PLC-10	4			303 Stainless	A11-10- **					
3/4	Self-Aligning	PFL-12	4	S5-5	4	1060 Steel	A10L-12- **	2	LMT75-75	1	SHA-12	4
	Engr. Plastic	PLC-12	4			303 Stainless	A11-12- **					
1	Self-Aligning	PFL-16	4	S5-6	4	1060 Steel	A10L-16- **	2	LMT100-75	1	SHA-16	4
	Engr. Plastic	PLC-16	4			303 Stainless	A11-16- **					
1 1/4	Self-Aligning	PFL-20	4	S5-7	4	1060 Steel	A10L-20- **	2	LMT125-100	1	SHA-20	4
	Engr. Plastic	PLC-20	4			303 Stainless	A11-20- **					
1 1/2	Self-Aligning	PFL-24	4	S5-8	4	1060 Steel	A10L-24- **	2	LMT150-130	1	SHA-24	4
	Engr. Plastic	PLC-24	4			303 Stainless	A11-24- **					

Bill of Material — Systems 4 and 5 / Metric

Section A *											Section B *	
Shaft Dia. (in)	Bearing			Bearing Housing		Shafting			Table Top		Shaft Hanger	
	Type	Part No.	QTY	Part No.	QTY	Type	Part No.	QTY	Part No.	QTY	Part No.	QTY
12	Self-Aligning	MPFL-12	4	MSC-12	4	1060 Steel	MA10-12-**	2	MLMT12-125	1	MSHA-12	4
	Engr. Plastic	MPLC-12	4			303 Stainless	MA11-12-**					
16	Self-Aligning	MPFL-16	4	MSC-16	4	1060 Steel	MA10-16-**	2	MLMT16-125	1	MSHA-16	4
	Engr. Plastic	MPLC-16	4			303 Stainless	MA11-16-**					
20	Self-Aligning	MPFL-20	4	MSC-20	4	1060 Steel	MA10-16-**	2	MLMT20-200	1	MSHA-20	4
	Engr. Plastic	MPLC-20	4			303 Stainless	MA11-16-**					
25	Self-Aligning	MPFL-25	4	MSC-25	4	1060 Steel	MA10-20-**	2	MLMT25-200	1	MSHA-25	4
	Engr. Plastic	MPLC-25	4			303 Stainless	MA11-20-**					
30	Self-Aligning	MPFL-30	4	MSC-30	4	1060 Steel	MA10-30-**	2	MLMT30-250	1	MSHA-30	4
	Engr. Plastic	MPLC-30	4			303 Stainless	MA11-30-**					
40	Self-Aligning	MPFL-40	4	MSC-40	4	1060 Steel	MA10-40-**	2	MLMT40-320	1	MSHA-40	4
	Engr. Plastic	MPLC-40	4			303 Stainless	MA11-40-**					

SYSTEMS 7 AND 8 / INCH & METRIC

Bill of Material — Systems 7 & 8

Nominal Shaft Diameter (Inches)	Motor Frame Adaptor	Lead Screw Diameter	Lead Screw Journal Diameter	Flange Adaptor	Flange Spacer*	Ball Bearings	Bearing Housing	Coupling	Maximum Travel (Inches)
1/2	LM23-6	3/8	.1872	LMB-6	SMB-6	E2-6	S12-6	T22A-2518D	48**
5/8	LM23-6	3/8	.1872	LMB-6	SMB-6	E2-6	S12-6	T22A-2518D	48**
3/4	LM23-8	1/2	.2497	LMB-8	SMB-8	E2-9	S12-8	T22A-25	48
1	LM23-8	1/2	.2497	LMB-8	SMB-8	E2-9	S12-8	T22A-25	48
1 1/4	LM34-10	5/8	.3747	LMB-10	SMB-10	E2-15	S12-10	T22A-37	48
1 1/2	LM34-10	5/8	.3747	LMB-10	SMB-10	E2-15	S12-10	T22A-37	48

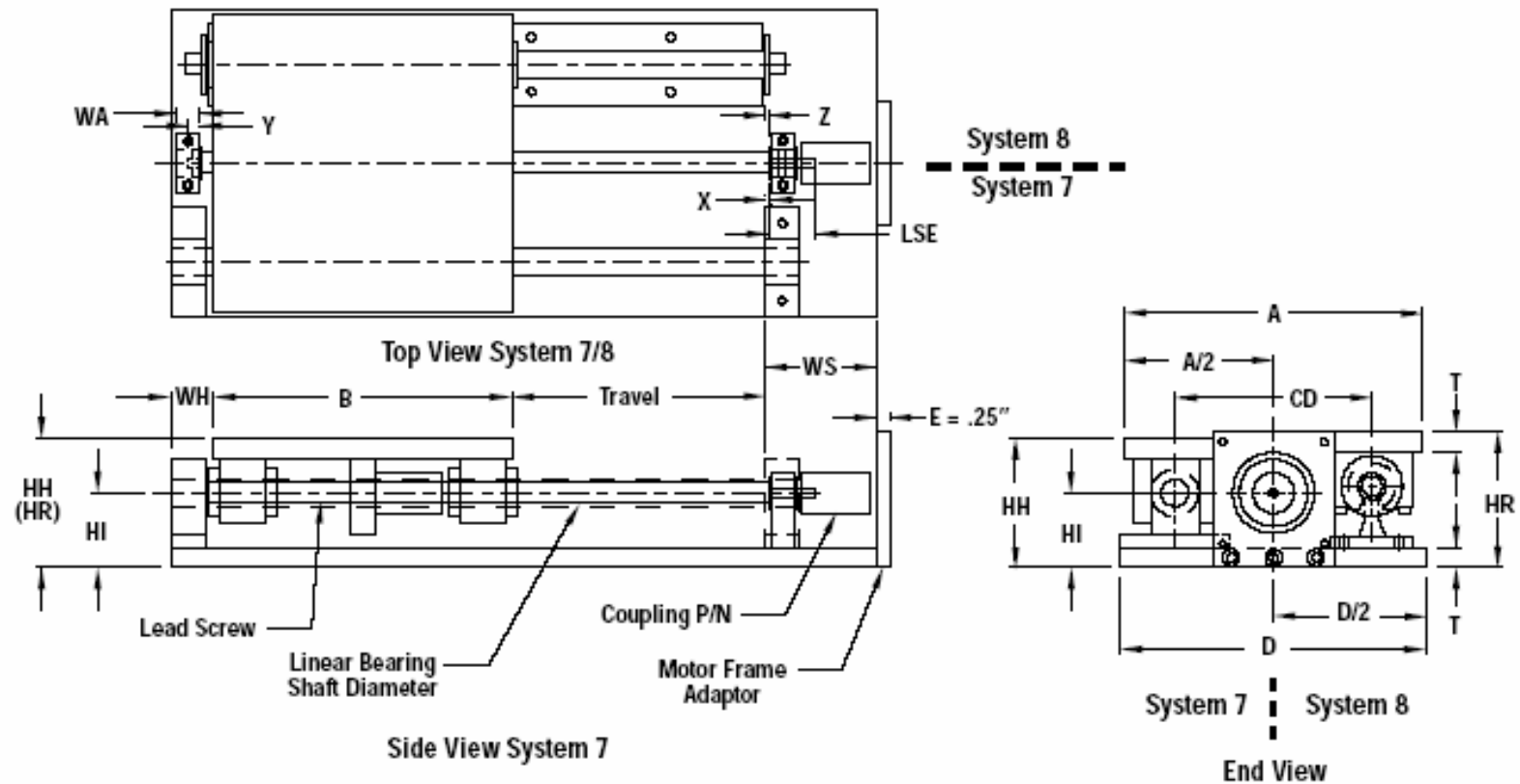
* Flange space — used on System 8

** System 7 max travel 20"

Dimensions — Systems 7 & 8

Nominal Shaft Diameter (Inches)	A	B	CD	D	HI	HH	HR	WH	WS	X	Y	Z	L _{Min.}	T	WA	LSE
1/2	5.50	5.50	3.625	5.625	1.375	2.375	2.500	.625	2.031	.094	.250	.051	8.156	.375	.438	.875
5/8	5.50	5.50	3.625	6.125	1.375	2.512	2.637	.688	2.063	.150	.250	.083	8.250	.375	.438	.875
3/4	7.50	7.50	5.500	8.000	2.000	3.125	3.375	.750	2.281	.188	.250	.114	10.531	.500	.438	.875
1	7.50	7.50	5.000	7.625	2.000	3.500	3.750	1.000	2.406	.250	.250	.114	10.906	.500	.438	.875
1 1/4	10.00	10.00	7.250	10.250	2.750	4.562	4.937	1.125	3.125	.253	.375	.188	14.250	.750	.625	1.250
1 1/2	13.00	13.00	9.25	13.000	2.750	5.125	5.625	1.250	3.188	.375	.375	.251	17.438	.750	.625	1.250

System 7 and 8 Dimension Diagram

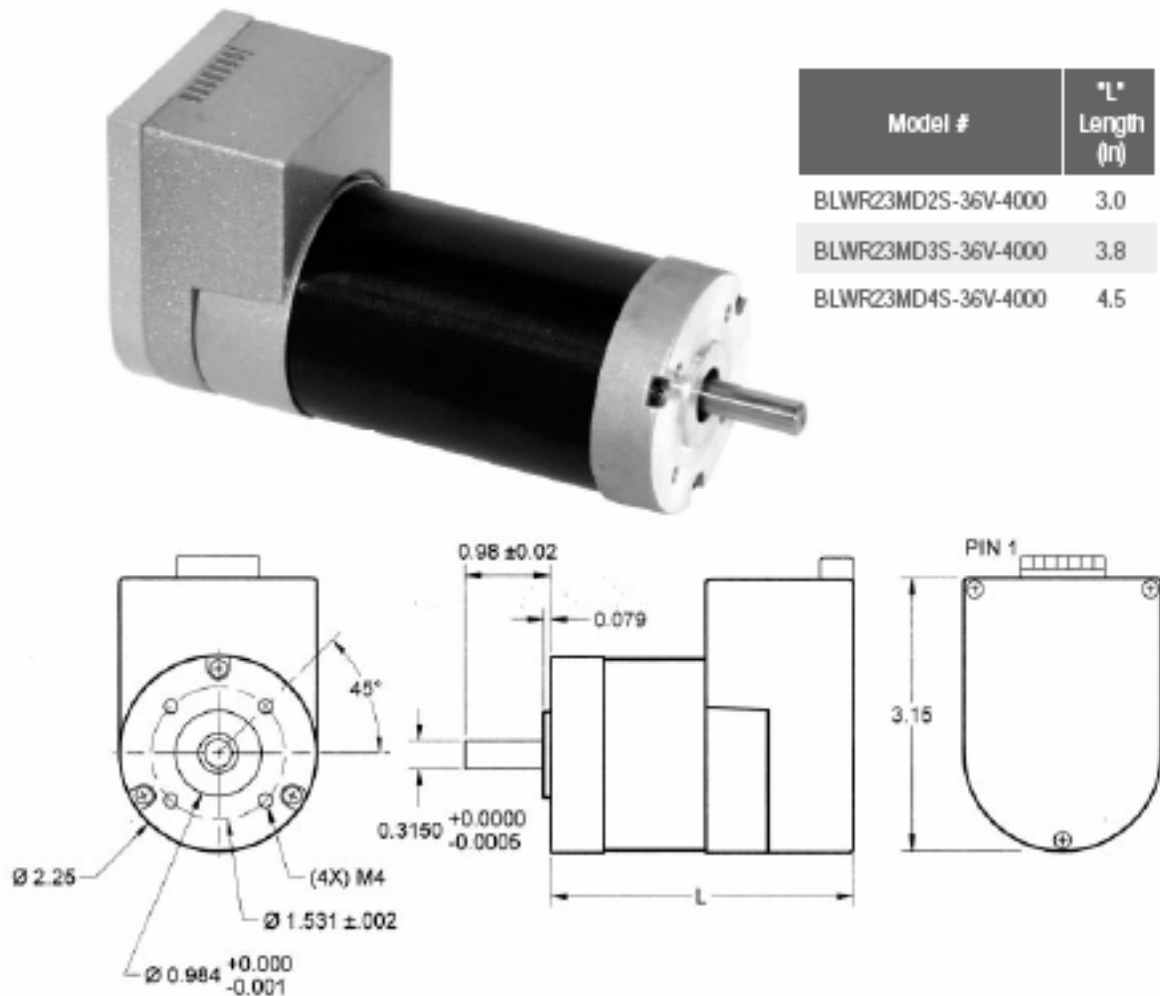


Si se quiere tener mas información sobre los catálogos, se puede visitar la pagina www.pic-design.com donde se puede observar y descargar los catálogos de las partes que se requieran.

Anexo 3. Motores DC y paso a paso

Motores Ejes Y, Z, X

Todas las medidas en pulgadas



Model #	"L" Length (in)
BLWR23MD2S-36V-4000	3.0
BLWR23MD3S-36V-4000	3.8
BLWR23MD4S-36V-4000	4.5

- *Size 23 BLDC Motor and Driver*
- *Cost Effective Solution*
- *Compact Size and Power Density*
- *Long Life and Highly Reliable*
- *Can be Customized for*
 - Maximum Speed
 - Winding Current
 - Shaft Options



Motor de pasos para los ejes C y A
PK296B2A-SG36

ORIENTAL MOTOR



■ Specifications

● Motor Specifications

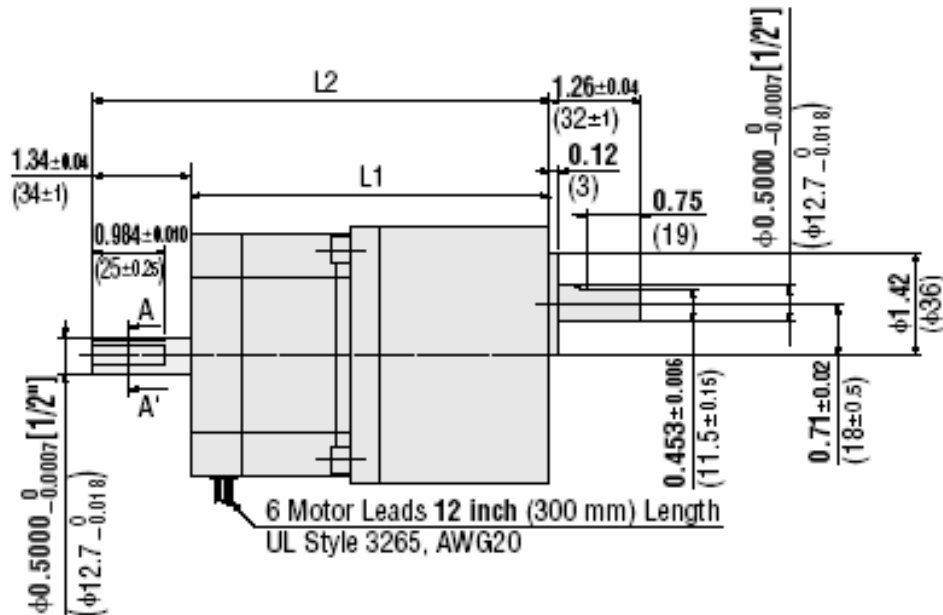
Model Single Shaft Double Shaft	Connection Type	Current per Phase A/phase	Voltage VDC
PK296A1A-SG □	Bipolar (Series)	1	4.4
PK296B1A-SG □	Unipolar	1.5	3.3
PK296A2A-SG □	Bipolar (Series)	2.1	2
PK296B2A-SG □	Unipolar	3	1.4

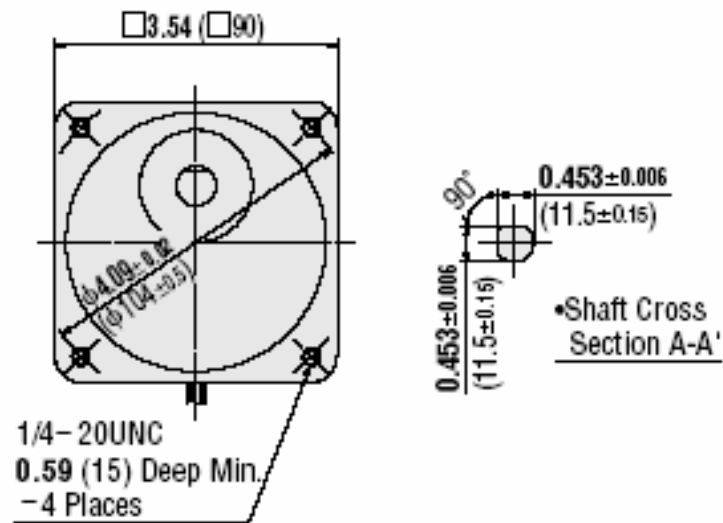
Resistance per Phase Ω /phase	Inductance mH/phase	Rotor Inertia J oz-in ² kg·m ²		Lead Wires
4.4	30.8	7.7	1400×10^{-7}	6
2.2	7.7			
0.96	6	7.7	1400×10^{-7}	6
0.48	1.5			

● Gearmotor Specifications

Model	Gear Ratio	Holding Torque*		Step Angle	Permissible Speed r/min
		Single Shaft Double Shaft	lb-in	N·m	
PK296A1A-SG3.6, PK296A2A-SG3.6 PK296B1A-SG3.6, PK296B2A-SG3.6	3.6:1		22	2.5	500
PK296A1A-SG7.2, PK296A2A-SG7.2 PK296B1A-SG7.2, PK296B2A-SG7.2	7.2:1		44	5	250
PK296A1A-SG9, PK296A2A-SG9 PK296B1A-SG9, PK296B2A-SG9	9:1		55	6.3	200
PK296A1A-SG10, PK296A2A-SG10 PK296B1A-SG10, PK296B2A-SG10	10:1		61	7	180
PK296A1A-SG18, PK296A2A-SG18 PK296B1A-SG18, PK296B2A-SG18	18:1		79	9	100
PK296A1A-SG36, PK296A2A-SG36 PK296B1A-SG36, PK296B2A-SG36	36:1		106	12	50

■ Dimensions Scale 1/4, Unit = inch (mm)

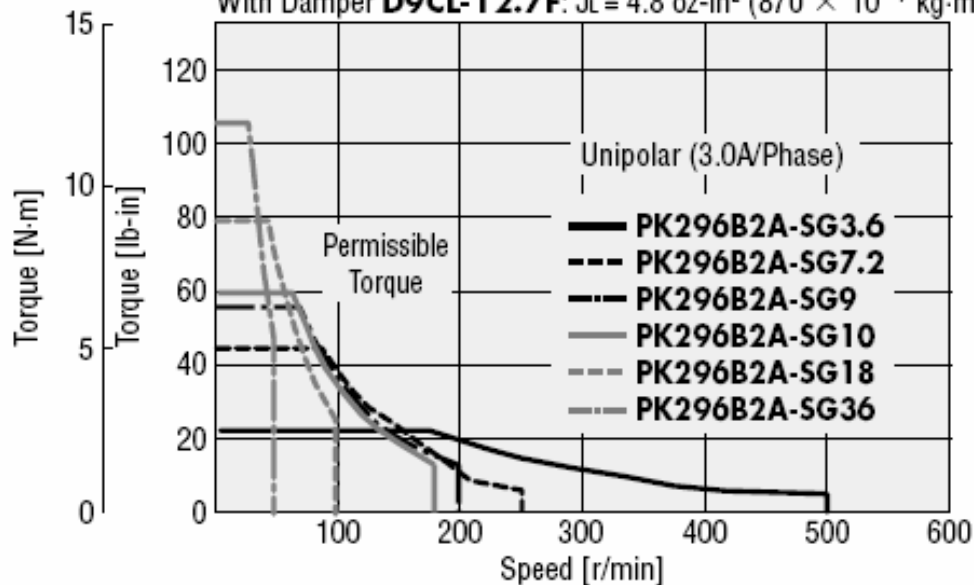




L1 inch (mm)	L2 inch (mm)	Weight lb. (kg)	DXF
4.96 (126)	—	6.2 (2.8)	B242U
	6.3 (160)		

● PK296B2A-SG □ Unipolar

Power Input: 24 VDC Unipolar Constant Current Driver
With Damper **D9CL-12.7F**: $J_L = 4.8 \text{ oz-in}^2 (870 \times 10^{-7} \text{ kg-m}^2)$



Anexo 4. Sensores y transistores

Encoder Incremental

Características

- Cuerpos de 30, 40, 58, ... mm de diámetro
- Con o sin impulso de paso por cero
- Carcasa metálica o plástica
- Salida por Push Pull, Colector abierto, Line driver,
- Conexión por cable o conector
- Conexión radial o axial
- Hasta 25.000 impulsos / vuelta
- Varios tipos de fijaciones
- Montajes especiales bajo demanda



Soporte especial cuenta metros

- Encoder con soporte y brazo articulado
- Muy fácil adaptación y montaje
- Resolución $>0,1$ mm.
- Adaptado a ruedas medidores

Accesorios

- Ruedas medidoras de 200 y 500 mm
- Brazos y soportes articulados
- Acoplamientos elásticos
- Conectores
- Cables de conexión



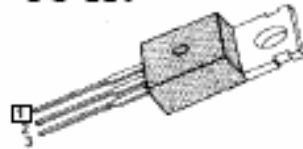
Transistor IRL 540

$$BV_{DSS} = 100 \text{ V}$$

$$R_{DS(on)} = 0.058 \Omega$$

$$I_D = 28 \text{ A}$$

TO-220



1. Gate 2. Drain 3. Source

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Characteristic	Value	Units
V_{DSS}	Drain-to-Source Voltage	100	V
I_D	Continuous Drain Current ($T_C=25^\circ\text{C}$)	28	A
	Continuous Drain Current ($T_C=100^\circ\text{C}$)	19.8	
I_{DM}	Drain Current-Pulsed (1)	98	A
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulsed Avalanche Energy (2)	522	mJ
I_{AR}	Avalanche Current (1)	28	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy (1)	12.1	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (3)	6.5	V/ns
P_D	Total Power Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	121	W
	Linear Derating Factor	0.81	W/ $^\circ\text{C}$
T_J, T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	- 55 to +175	$^\circ\text{C}$
T_L	Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8. from case for 5-seconds	300	

Fig 1. Output Characteristics

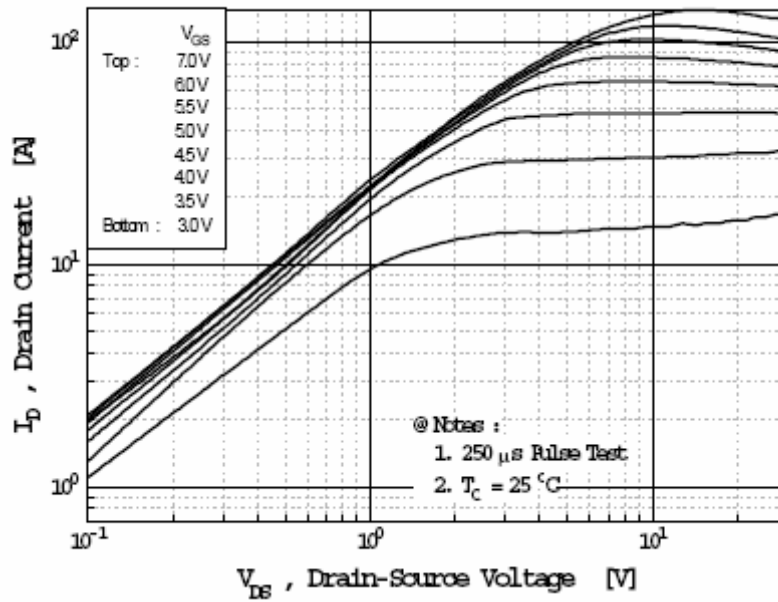
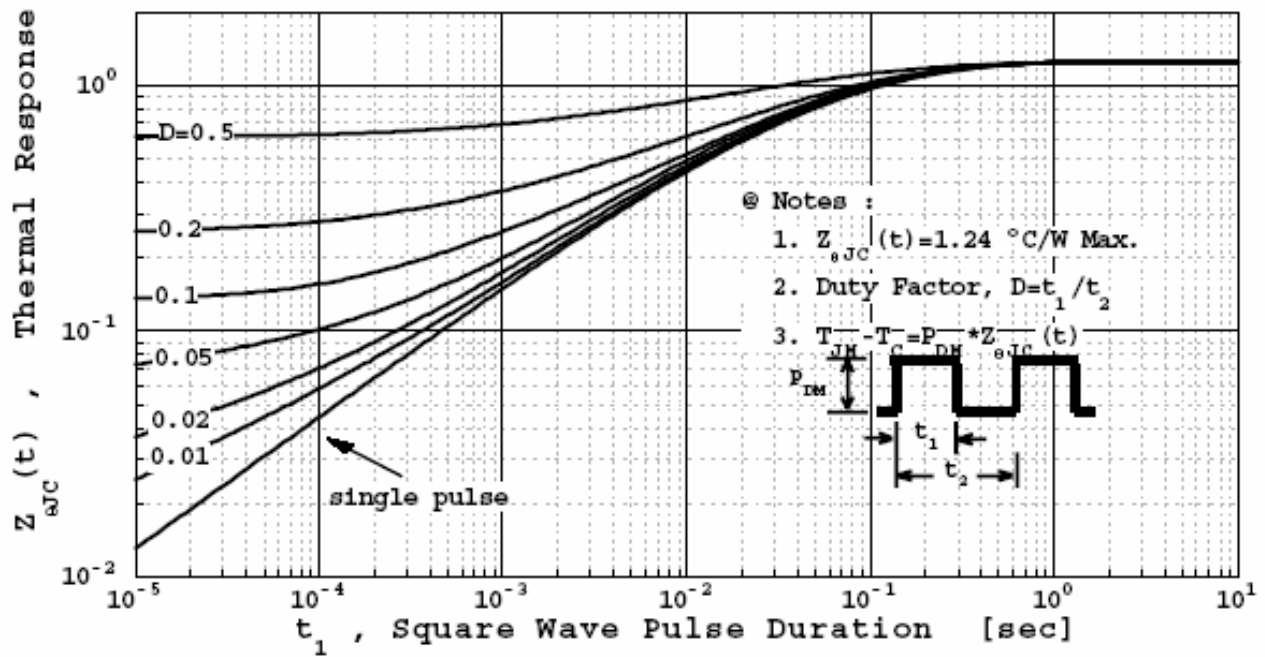


Fig 11. Thermal Response



Encoder Absoluto

842A absoluto de multivuelas



Formato de código	Gray o binario absoluto, multivuelas
Resolución	8192 PPR, 8192 vueltas máx (24 bits)
Capac. de control de salida	Interface en serie síncrona (SSI)
Velocidad de giro	6000 RPM
Calificación de la carcasa	IP67 (IEC 529)
Marca CE	Sí

Aplicaciones típicas

- Acerías
- Grúas elevadas
- Prensa punzonadora
- Líneas de transferencia
- Equipos de perforación para extracción de petróleo
- Molinetes
- Herramientas de máquina
- Envasado

Anexo 5. SISDEI y 82C55A
SISDEI
 Esquemático

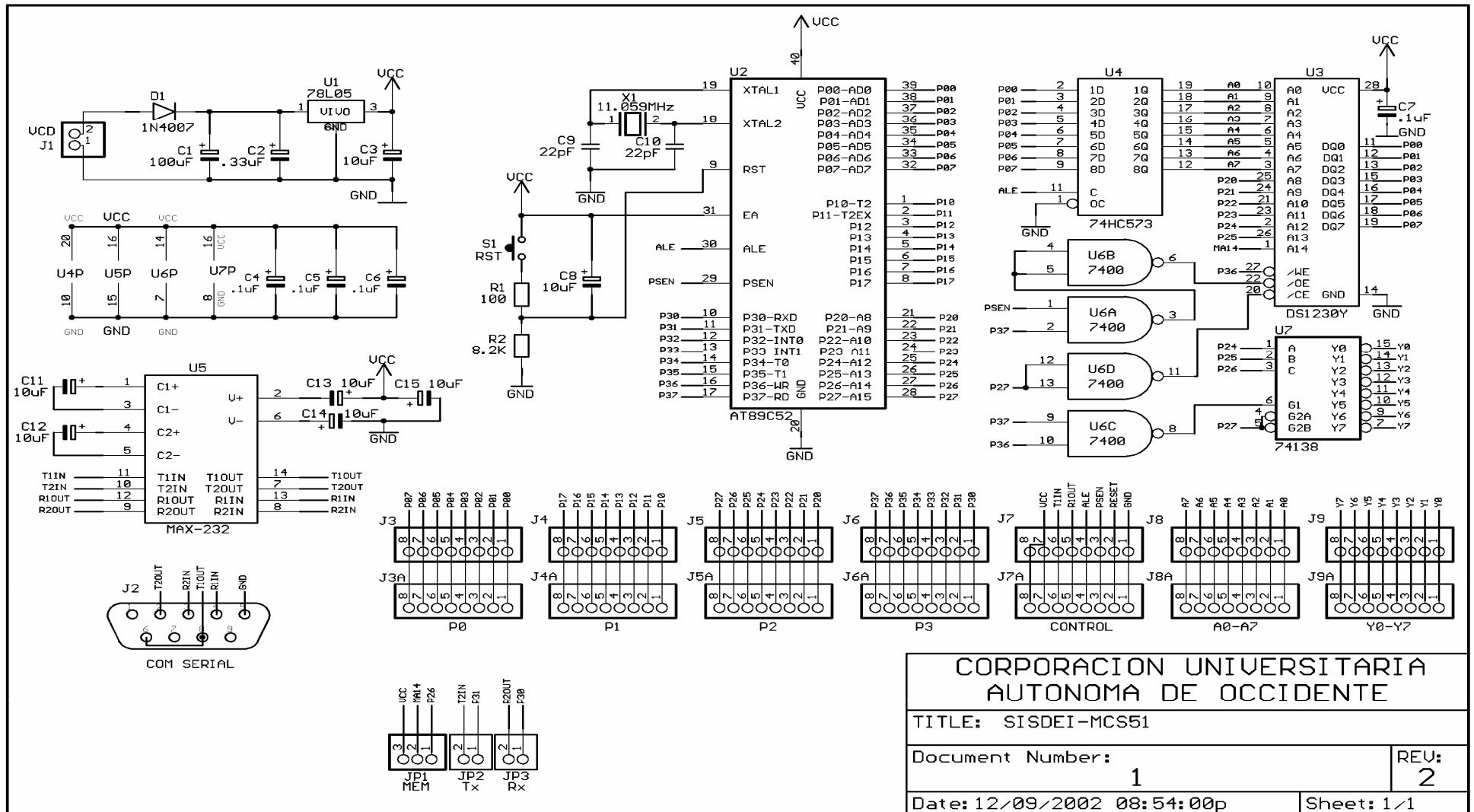


FOTO SISTEMA SISDEI MCS-51



HENRY CABRA TAMAYO

PPI82C55A

34	D0	PA0	4
33	D1	PA1	3
32	D2	PA2	2
31	D3	PA3	1
30	D4	PA4	40
29	D5	PA5	39
28	D6	PA6	38
27	D7	PA7	37
5	RD	PB0	18
36	WR	PB1	19
9	A0	PB2	20
8	A1	PB3	21
35	RESET	PB4	22
6	CS	PB5	23
		PB6	24
		PB7	25
		PC0	14
		PC1	15
		PC2	16
		PC3	17
		PC4	13
		PC5	12
		PC6	11
		PC7	10

8255A

Table 1. Pin Description

Symbol	Pin Number Dip PLCC		Type	Name and Function					
PA ₃₋₀	1-4	2-5	I/O	PORT A, PINS 0-3: Lower nibble of an 8-bit data output latch/ buffer and an 8-bit data input latch.					
\overline{RD}	5	6	I	READ CONTROL: This input is low during CPU read operations.					
\overline{CS}	6	7	I	CHIP SELECT: A low on this input enables the 82C55A to respond to \overline{RD} and \overline{WR} signals. \overline{RD} and \overline{WR} are ignored otherwise.					
GND	7	8		System Ground					
A ₁₋₀	8-9	9-10	I	ADDRESS: These input signals, in conjunction \overline{RD} and \overline{WR} , control the selection of one of the three ports or the control word registers.					
				A ₁	A ₀	\overline{RD}	\overline{WR}	\overline{CS}	Input Operation (Read)
				0	0	0	1	0	Port A - Data Bus
				0	1	0	1	0	Port B - Data Bus
				1	0	0	1	0	Port C - Data Bus
				1	1	0	1	0	Control Word - Data Bus
				Output Operation (Write)					
</									

\overline{WR}	36	40	I	WRITE CONTROL: This input is low during CPU write operations.
PA ₇₋₄	37-40	41-44	I/O	PORT A, PINS 4-7: Upper nibble of an 8-bit data output latch/buffer and an 8-bit data input latch.
NC		1, 12, 23, 34		No Connect

Ports A, B, and C

The 82C55A contains three 8-bit ports (A, B, and C). All can be configured in a wide variety of functional characteristics by the system software but each has its own special features or "personality" to further enhance the power and flexibility of the 82C55A.

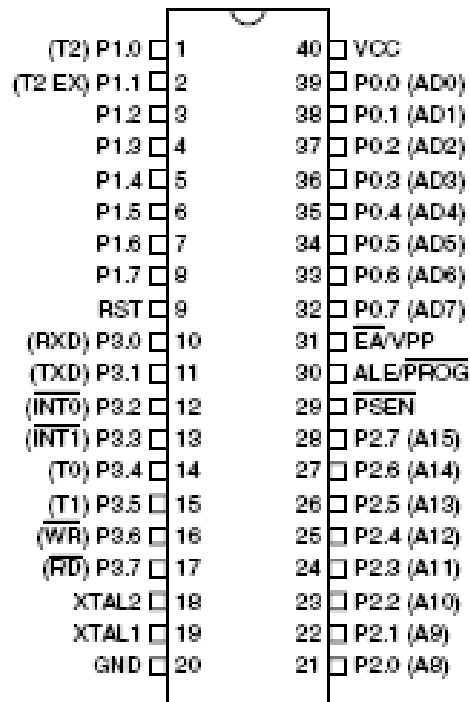
Port A. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit input latch buffer. Both "pull-up" and "pull-down" bus hold devices are present on Port A.

Port B. One 8-bit data input/output latch/buffer. Only "pull-up" bus hold devices are present on Port B.

Port C. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input buffer (no latch for input). This port can be divided into two 4-bit ports under the mode control. Each 4-bit port contains a 4-bit latch and it can be used for the control signal outputs and status signal inputs in conjunction with ports A and B. Only "pull-up" bus hold devices are present on Port C.

Anexo 6. Microcontrolador Atmel 89C51AC2

PDIP



Características:

- 80C51 Core Architecture
- 256 Bytes of On-chip RAM
- 1 KB of On-chip XRAM
- 32 KB of On-chip Flash Memory
- Data Retention: 10 Years at 85°C
- Read/Write Cycle: 10K
- 2 KB of On-chip Flash for Bootloader
- 2 KB of On-chip EEPROM
- Read/Write Cycle: 100K
- 14-sources 4-level Interrupts
- Three 16-bit Timers/Counters
- Full Duplex UART Compatible 80C51
- Maximum Crystal Frequency 40 MHz, in X2 Mode, 20 MHz (CPU Core, 20 MHz)
- Five Ports: 32 + 2 Digital I/O Lines
- Five-channel 16-bit PCA with:
 - PWM (8-bit)
 - High-speed Output
 - Timer and Edge Capture
 - Double Data Pointer
 - 21-bit Watchdog Timer (7 Programmable Bits)
- 10-bit Resolution Analog to Digital Converter (ADC) with 8 Multiplexed Inputs
- On-chip Emulation Logic (Enhanced Hook System)
- Power Saving Modes:
 - Idle Mode
 - Power-down Mode
- Power Supply: 3V to 5.5V
- Temperature Range: Industrial (-40° to +85°C)
- Packages: VQFP44, PLCC44

Anexo 7. LCD



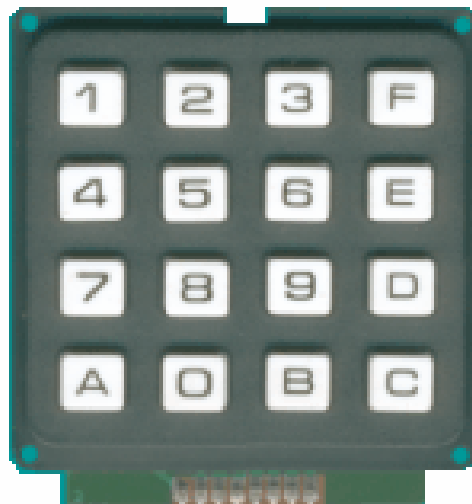
I/D = 1 Incrementa la dirección del cursor
 I/D = 0 Decrementa la dirección del cursor
 S = 1 Desplaza la visualización cada vez que se escribe un dato
 S/C = 1 Se desplaza la visualización
 S/C = 0 Se desplaza el cursor
 R/L = 1 Desplazamiento a la derecha
 R/L = 0 Desplazamiento a la izquierda
 DL = 1 Trabaja con bus de datos de 8 bits
 DL = 0 Trabaja con bus de datos de 4 bits
 N = 1 La presentación se hace en 2 líneas
 N = 0 La presentación se hace en 1 línea
 F = 1 Caracteres de 5x10 dots
 F = 0 Caracteres de 5x7 dots
 BF = 1 LCD ocupado en una operación interna
 BF = 0 LCD disponible para aceptar instrucciones
 D = 1 Pantalla activa (ON)
 C = 1 Cursor activo (ON)
 * Indeterminado

DDRAM: Display Data RAM
 CGRAM: Character Generator RAM
 ACC : Address of CGRAM
 ADD : Address of DDRAM
 AC: Address counter used for both
 DDRAM and CGRAM

INSTRUCCIONES CON EL LCD

Instrucción	Código										Descripción	Tiempo max de ejecución
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Borra el display y coloca el cursor en la primera posición 0 DDRAM	82 μ s-1.64ms
Return home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	Coloca el cursor en la posición de inicio y hace que el display comience a desplazarse desde la posición original. El contenido de la DDRAM no varía	40 μ s-1.64ms
Entry mode set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Establece el sentido de desplazamiento de la información en el display. Esta operación se realiza durante la lectura o escritura de la DDRAM	40 μ s
Display ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Activa o desactiva poniendo en ON/OFF tanto el display D=0 (off) o D=1(on), como el cursor C=0(off) o C=1(on) y establece si este debe parpadear o no B=0(off) o B=1(on)	40 μ s
Cursor or display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	Mueve el cursor y desplaza el display sin cambiar el contenido de la DDRAM	40 μ s
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	Establece el tamaño de interfase con el bus de datos(DL), el número de líneas del display(N) y la font de los caracteres	40 μ s

Anexo 8. Teclado Matricial



Descripción:

Dispositivo de entrada de datos que consta de 16 teclas o pulsadores, dispuestos e interconectados en filas y columnas. Dispone de un conector SIL (Single In Line) macho de 8 pines que se corresponden con las 4 filas y las cuatro columnas de las que dispone.

Anexo 9. Moto Tool

En la pieza que se llama “base para herramienta” podría ir un moto tool como el que se muestra a continuación.

